

El transporte de combustible agotado — consideraciones relativas a la seguridad

Un análisis estadounidense de por qué el pasado promueve normas elevadas para el futuro

por Robert M. Jefferson

En nuestra sociedad actual el transporte de materiales radiactivos, y sobre todo el de combustible agotado de reactores, suscita una emotividad considerable y abundante información, tanto buena como mala.

En los Estados Unidos, el transporte de estos materiales se considera una categoría singular y diferente del transporte de otros materiales que entrañan riesgos, así como uno de los componentes más vulnerables de las actividades vinculadas a la energética nuclear. A esto se debe sumar el concepto ampliamente difundido de que casi todo el mundo es experto en transporte de materiales radiactivos.

Uno de los elementos importantes que contribuye a este nivel de emotividad es la idea de que todos los caminos (tanto carreteras como ferrocarriles) por donde se transportarán estos materiales cruzan, de alguna manera, por el traspaso de cada cual. De ahí que la problemática del transporte de combustibles agotados se haya convertido en un campo de batalla político.

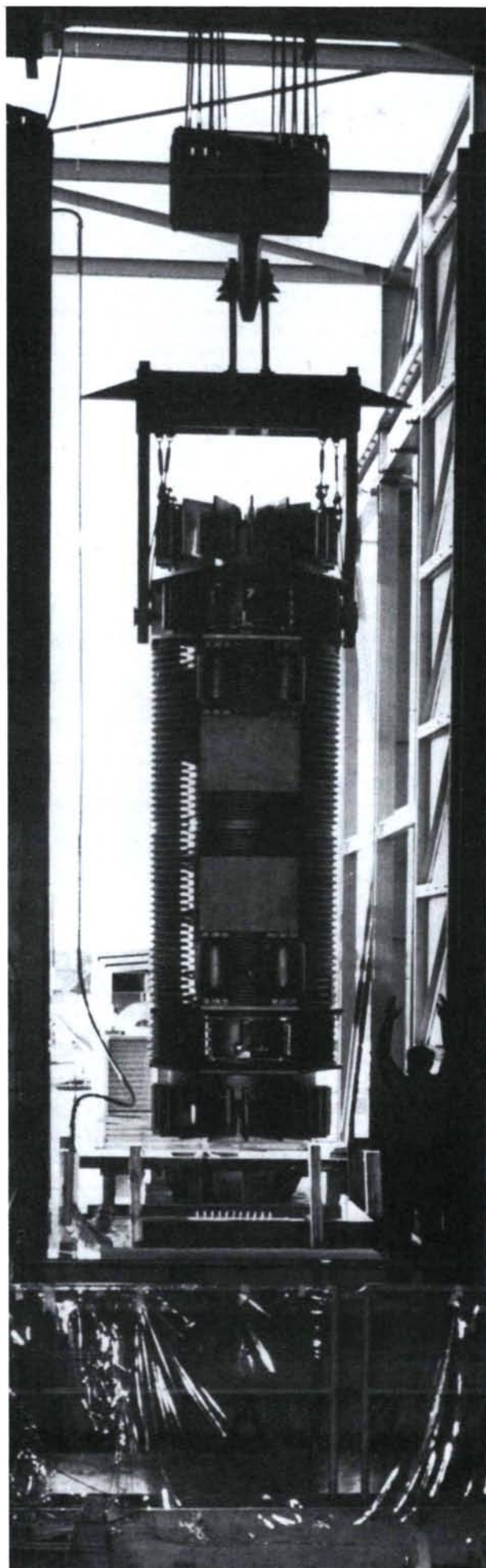
Para que los que participan en el debate sobre esta actividad puedan llegar a algunas conclusiones racionales, este artículo ofrece algunos antecedentes que podrían ayudar a una amplia gama de personas a desarrollar sus propios puntos de vista. Se pretende abordar la seguridad en el transporte de combustibles agotados desde un punto de vista técnico desprovisto de la carga emotiva que suele formar parte de este debate.

La seguridad: enfoques clásicos

Existen tres enfoques clásicos para abordar el tema de la seguridad. Uno de ellos es, evidentemente, estudiar la historia del transporte de cualquier producto y evaluar la seguridad atendiendo a la experiencia. Otro método muy utilizado consiste en abordar la cuestión analíticamente, combinar los diversos elementos de riesgo que entraña y evaluarlos a la luz de las consecuencias asociadas a cada nivel de riesgo. Un tercer

El Sr. Jefferson es Director del *Transportation Technology Center* de Sandia National Laboratories, Estados Unidos de América.

Un cofre de 70 toneladas para el transporte de combustible agotado es colocado en un foso de descarga.
(Cortesía de Atomic Industrial Forum, Inc.)



Desglose estadístico

Resulta interesante desglosar por categorías las expediciones de material radiactivo. Dos terceras partes de los dos millones de bultos son expediciones de radisótopos utilizados en la industria médica, entre otros los radiofármacos, las fuentes de radiodiagnóstico y las fuentes de teleterapia, que oscilan desde cantidades en microcurios por una parte, hasta miles de curios, por la otra.

Al sector de las aplicaciones industriales de los radisótopos corresponde aproximadamente la octava parte de todos los bultos que se desplazan anualmente en los Estados Unidos. Entre éstas figuran las fuentes para la radiografía de terreno, de tanta utilidad en la construcción de edificios altos y puentes; las fuentes para el perfil de sondeo de pozos, ampliamente utilizadas en las industrias del gas y el petróleo, y una extensa aplicación de lo que se conoce como calibradores DXT o calibradores de densidad-tiempo-espesor. Todo el acero en bandas, las láminas de plástico, los cigarrillos y la mayoría del papel que se produce en los Estados Unidos depende de los calibradores DXT.

Aproximadamente la sexta parte del número total de bultos de material radiactivo que se trasladan cada año caen dentro de la categoría de misceláneas. Dicha categoría incluye una gama de aplicaciones que abarca desde productos para el consumidor, como los detectores de humo y las esferas de relojes, hasta señales luminosas para indicar las salidas y objetos similares con un bajo nivel de radiactividad.

La otra aplicación se refiere a la energía nucleoelectrónica correspondiente a la vigesimoquinta parte de todos los bultos de material radiactivo que se trasladan actualmente

en los Estados Unidos. Estos traslados incluyen la expedición de desechos con bajo nivel de radiactividad producidos por la industria nuclear, fuentes radiactivas que tienen aplicaciones diversas y, naturalmente, el combustible agotado de los reactores.

Si bien la distribución de los bultos sugiere que la energía nucleoelectrónica participa de manera bastante insignificante en la actividad en su conjunto, es decir, en la cantidad de bultos trasladados, existe la creencia bastante generalizada de que en el número total de curios expedidos en virtud de estas diferentes actividades predominan casi totalmente las actividades relacionadas con la energía nucleoelectrónica. Los estudios realizados recientemente indican que esto tampoco es cierto.

Si estas cuatro categorías se analizan desde el punto de vista del número total de curios expedidos, se comprueba que la profesión médica responde por la octava parte de toda la actividad (12,2%), las aplicaciones industriales por las seis séptimas partes de los curios (85,4%), la categoría miscelánea por la centésima parte de la radiactividad (1%), y, por último, la energía nucleoelectrónica, incluidos los traslados de combustible agotado, sólo responde por la septuagésima parte (1,4%) de las expediciones anuales de curios.*

* *Transport of Radioactive Material in the United States: Results of a Survey to Determine the Magnitude and Characteristics of Domestic, Unclassified Shipments of Radioactive Materials*, por H.S. Javits, T.K. Layman, E. Maxwell, E.L. Myers, C.K. Thompson, SRI International, Menlo Park, California (noviembre de 1984).

Perfil de las expediciones anuales de material radiactivo en los Estados Unidos de América

	No. de bultos*	Porcentaje del total*	Curios promedio por bulto
<i>Por su empleo final</i>			
Aplicaciones médicas	1 640 000	67,4	5,29
Miscelánea/no especificado	362 700	15,0	0,049
Industrial en general	219 000	9,0	246,0
Energética	95 200	3,9	10,4
Radiografías	79 200	3,3	57,9
Desechos	18 500	0,8	0,84
Investigaciones/académico	17 500	0,7	0,71
Total	2 432 100		
<i>Por tipo de bulto</i>			
Tipo A	1 700 000	69,8	0,541
Cantidad limitada	446 900	18,3	0,044
Actividad específica baja	191 000	7,8	0,659
Tipo B	88 000	3,6	746,0
No especificado	6 000	0,3	1,16
Tipo B/grandes cantidades	2 700	0,1	587,0
Total	2 434 600		
<i>Por modalidad primaria de transporte</i>			
Carretera	1 880 000	76,8	35,3
Aire	544 000	22,6	3,5
Correo (sistema postal)	5 900	0,24	0,02
Ferrocarril	3 400	0,14	0,15
Otros	2 900	0,12	15,8
Total	2 436 200		

* Los porcentajes y los totales se han redondeado y, por consiguiente, reflejan algunas variaciones.

Fuente: Sandia National Laboratories, Report 83-2668, TTC-0542 (septiembre de 1984).

enfoque puede ser el de examinar todas las investigaciones disponibles en materia de seguridad para determinar si contienen alguna información capaz de ampliar o alterar la experiencia o los análisis.

Lamentablemente, es raro que estos enfoques, de forma individual o combinados, satisfagan a todos los que manifiestan preocupación por el transporte de combustibles agotados. A fin de responder a las preocupaciones que persisten, y que estos tres métodos clásicos no contemplan explícitamente, en este artículo se examina también un tipo de consideración que se denomina genéricamente “¿y si...?” (Véase el recuadro.)

Panorama de las experiencias pasadas

Una de las concepciones más difundidas acerca del transporte de combustible agotado es que, de algún modo, esta actividad provocará un aumento significativo de la cantidad de expediciones de materiales que entrañan riesgo. Resulta, pues, importante examinar el enorme alcance de las actividades de transporte en los Estados Unidos.

Según los cálculos, aproximadamente una de cada cinco personas está empleada de algún modo o en alguna actividad que se relaciona con el transporte de personas, mercancías y materiales. Otro aspecto que puede servir de referencia es el hecho de que en los Estados Unidos se transportan cada año 500 000 millones (medio billón) de bultos de todo tipo de productos.

De este medio billón de bultos, aproximadamente 100 millones contienen materiales peligrosos de uno u otro tipo. En esta cifra quedarían incluidos los materiales inflamables, los combustibles, los explosivos, las toxinas y los materiales radiactivos. La porción de materiales radiactivos comprende unos dos millones de bultos anuales; así pues, el transporte de materiales radiactivos sólo constituye cerca de 2% de la actividad total de transporte de materiales que entrañan riesgo en los Estados Unidos.*

Datos sobre el combustible agotado

Desde 1964, año en que se comenzó a transportar combustible agotado en los Estados Unidos, se ha efectuado un promedio de 291 expediciones por año. El número máximo de expediciones de combustible agotado proyectado mediante cualquier fuente de análisis estadístico que se haya publicado hasta la fecha, es de unas 9000 por año con un depósito que funcione a plena capacidad, y lo más probable es que la media real sería aproximadamente la mitad de esa cifra, o sea, unas 4500 expediciones por año.**

Esta proyección, conjuntamente con las proyecciones basadas en el incremento del uso de materiales radiactivos en la industria y la medicina, indicaría que, del total de curios expedidos, la porción correspondiente a la energía nucleoelectrónica seguirá siendo relativamente pequeña. Además, es importante tener presente que el combustible agotado se transporta en la actualidad y se ha venido

transportando desde hace 20 años. Ya se han desplazado unos 5000 elementos de combustible agotado.*

Esta experiencia acumulada puede ampliarse aún más si se incluyen los demás materiales radiactivos que se han estado transportando en los Estados Unidos desde 1944. Es esta base de experiencias la que nos permite evaluar, al menos en uno de sus aspectos, la seguridad relativa del transporte de materiales radiactivos y de combustible agotado en particular. Además, a principios de 1971, el Departamento de Transporte organizó un programa denominado “Hazardous Material Incident Reporting System”. Los datos de esa compilación, junto con las contribuciones de otras fuentes, brindan una evaluación precisa de la historia de los accidentes relacionados con el transporte de materiales radiactivos.

La experiencia de los accidentes: los bultos resisten

Desde 1971 hasta 1981 ocurrieron 108 accidentes en que participaron vehículos que cargaban materiales radiactivos. Existen datos más recientes, pero la tasa de accidentes no ha cambiado en comparación con ese período de 11 años. Los 108 accidentes se repartieron en las siguientes categorías: veintiséis casos de accidentes con materiales de desechos de baja actividad provenientes de todos los sectores de la industria; veinticuatro accidentes relacionados con fuentes radiográficas industriales que se estaban transportando desde, o hacia, el lugar de empleo; dieciocho relacionados con materiales radiactivos empleados en medicina; treinta y seis tuvieron que ver con materias primas como el mineral de uranio o la torta amarilla. Los cuatro accidentes restantes fueron con cofres de combustible agotado (dos de los cuales estaban vacíos en el momento del accidente).**

Existe otro modo de abordar esta gama de accidentes. En los 108 accidentes participaron 1198 bultos de materiales radiactivos. De estos, 861 pertenecían a la categoría denominada “strong tight”, el tipo de contenedor en que se expiden materiales de baja actividad como la torta amarilla y artículos de consumo como los detectores de humo. De los 861 bultos, 56 recibieron daños al punto de permitir la fuga de alguna cantidad de material radiactivo. Por ejemplo, 28 de los 56 se dañaron en un accidente que ocurrió en Colorado cuando un camión cargado de bidones de torta amarilla (U_3O_8) atropelló a un caballo y se volcó al costado de la carretera con la consiguiente ruptura de los bidones. Aun así, sólo 56 fugas en un total de 861 bultos accidentados representan una tasa de supervivencia de 93,5% para un tipo de bulto que se utiliza en el comercio general.

Para los materiales con una actividad ligeramente superior se requieren bultos de tipo A diseñados para resistir los rigores normales del transporte. Las condiciones de diseño que estipula el reglamento para los bultos de tipo A están concebidas para garantizar que durante el transporte libre de accidentes no se fugue ninguna parte del contenido.

Estos criterios no garantizan que el bulto pueda resistir los accidentes. Sin embargo, de los 286 bultos

* *Transport of Radioactive Material in the United States: Results of a Survey to Determine the Magnitude and Characteristics of Domestic, Unclassified Shipments of Radioactive Materials*, por H.S. Javits, T.K. Layman, E. Maxwell, E.L. Myers, C.K. Thompson, SRI International, Menlo Park, California (noviembre de 1984).

** *Social and Economic Aspects of Radioactive Waste Disposal*, National Research Council, National Academy Press, Washington, D.C. (1984) pág.69.

* Véase “Commercial Experience in the Transportation of Spent Fuel in the United States”, por R.M. Jefferson y J.D. McClure, *Boletín del OIEA*, Vol.21, No.6 (diciembre de 1979).

** *Radioactive Material (RAM) Accident/Incident Data Analysis Program*, por E.L. Emerson y J.D. McClure, SAND82-2156, TTC-0385, Sandia National Laboratories (septiembre de 1983).

de tipo A que participaron en accidentes durante el período de referencia, sólo cinco permitieron fugas de material radiactivo al medio ambiente, lo que representa una tasa de supervivencia de 98,25%. Tanto los bultos del tipo "strong tight" como los de tipo A se utilizan para transportar cantidades limitadas de materiales que no entrañarían un peligro significativo para el público aun cuando se produjeran fugas.

Fugas radiactivas: ninguna

Los 50 bultos restantes que participaron en los 108 accidentes eran del denominado tipo B. Estos bultos se utilizan para transportar materiales radiactivos de actividad más alta, incluido el combustible agotado, y están diseñados para soportar condiciones de accidente sin permitir fugas de su contenido.

De los 50 contenedores del tipo B que participaron en accidentes, ninguno permitió fugas de material radiactivo. Si bien estos datos corresponden específicamente a los Estados Unidos, es importante señalar que la experiencia con contenedores del tipo B que han participado en accidentes es uniforme para todo el mundo occidental.

Durante los 40 años en que se ha venido transportando material radiactivo de alta actividad, no se ha producido ninguna muerte o lesión atribuible al carácter radiactivo de los materiales de cualquier clase. Es más, nunca ha ocurrido una fuga de un bulto de tipo B como resultado de accidentes de los vehículos de transporte.*

En cambio, resulta interesante señalar que durante los mismos 40 años se han producido en los Estados Unidos unas 1100 muertes directamente imputables al peligro que implica el transporte de gasolina.** También puede citarse un gran número de problemas similares con el cloro, el amoníaco, el CPV y otros materiales que entrañan riesgo.

Las concepciones acerca de la seguridad en el transporte de materiales radiactivos de alta actividad se ven afectados por la extrapolación de la experiencia con otros materiales que entrañan riesgo y no se transportan en bultos diseñados para soportar accidentes. Lo cierto es que, desde una perspectiva histórica, el transporte de combustible agotado ha resultado mucho más seguro que el de otros materiales que entrañan riesgo.

Los riesgos: un enfoque analítico

En los Estados Unidos se ha generalizado el método de analizar el riesgo que entraña cualquier actividad utilizando información estadística y proyecciones, conjuntamente con un estudio de las consecuencias que podrían derivarse de los distintos tipos de actividades. Este mismo análisis se ha realizado en la esfera del transporte de materiales radiactivos y las conclusiones son muy interesantes.

Según estos estudios, que se basan en premisas generalmente aceptadas como conservadoras, el transporte sin accidentes de todos los materiales radiactivos en todos los Estados Unidos produciría una exposición media de menos de medio milirrem por persona afectada

por año. Compárese esto con la radiación media de fondo de aproximadamente 160 milirrem por año que proviene del suelo, los materiales de construcción, los alimentos y la radiación cósmica. Aún la persona que mayor exposición sufriera en condiciones no accidentales sólo recibiría 16 milirrem por año.

Cuando se introduce en este análisis el factor accidente, el nivel medio de exposición de la población expuesta al riesgo aumenta en unos 0,005 a 0,0005 milirrem.* En otras palabras, el riesgo adicional que entraña el factor accidente para las personas constituye sólo una milésima parte del riesgo que corresponde a la actividad sin accidentes.

Es importante comprender que esos mismos accidentes que constituyen un peligro para la integridad del bulto también pueden producir muertes y lesiones por traumatismo. Es decir, los accidentes de vehículos que transportan materiales radiactivos producen muertos y heridos sin que la naturaleza de la carga tenga que ver en absoluto con las consecuencias del accidente. Cuando se compara el riesgo por traumatismo con el riesgo radiológico en el transporte de materiales radiactivos, el primero resulta de 100 a 1000 veces más alto que el segundo.

Atendiendo a estas consideraciones, el reglamento federal que rige el transporte de materiales de alta actividad intenta reducir al mínimo la distancia total recorrida para así reducir también al mínimo el riesgo de muertes o lesiones por traumatismo.** Además, como cabe esperar, este mismo enfoque disminuye el ya reducido riesgo radiológico.

Por lo tanto, los métodos analíticos que se utilizan para evaluar el riesgo en ésta y otras actividades indican que los riesgos a que se expone al público debido al transporte de materiales radiactivos, incluido el combustible agotado, son considerablemente inferiores a los que suelen aceptarse en el transporte de pasajeros, mercancías y servicios en general.

Investigaciones en materia de seguridad: los ensayos

Desde principios del decenio de 1970 se han aumentado las investigaciones sobre el aspecto de la seguridad en el transporte de materiales radiactivos para: evaluar la eficacia de los materiales que se utilizan en el diseño y la construcción de los bultos, examinar la idoneidad de los instrumentos de diseño; acopiar datos para definir el análisis del riesgo; y evaluar la eficacia de los reglamentos existentes.

Como la idoneidad de los reglamentos se cuestiona con frecuencia, se han hecho considerables esfuerzos para explorar ese campo. Por ejemplo, una de las quejas más frecuentes contra los reglamentos es que los criterios de diseño, concebidos para abarcar las condiciones en que se producen los accidentes especifican una caída de 30 pies (unos 9 metros) sobre una superficie rígida. Un cálculo muy sencillo nos revela rápidamente que una caída de 30 pies equivale a un impacto a 30 millas por hora (mph).

* Véase "The Role of the International Atomic Energy Agency", por Morris Rosen, y "Design & Safety of Flasks", por R.M. Jefferson en *The Urban Transport of Irradiated Fuel*, MacMillan Press, Long (1984); y *Transportation Accident Scenarios for Commercial Spent Fuel*, por E.L. Wilmot, SAND80-2124, TTC-0156, Sandia National Laboratories (febrero de 1981).

** Comunicación privada con R. Rawl, del Departamento de Transporte de los Estados Unidos.

* Para un examen de la exposición a la radiación, véase *A Nuclear Waste Primer*, League of Women Voters, Publication No.391, Washington, D.C. (1980); y *A Preliminary Cost and Risk Analysis for Transporting Spent Fuel and High-level Wastes to Candidate Repository Sites*, por K.S. Neuhauser, J.W. Cashwell, P.C. Reardon, G.W. McNair, SAND84-1795, TTC-0506, Sandia National Laboratories (octubre de 1984).

** *Federal Register*, Docket No. HM 164, Vol.46, No.12, (19 de enero de 1981), págs. 5298 a 5318.



Choques, fuegos y caídas peores que los que ocurren en condiciones reales de transporte: estos son algunos de los implacables ensayos que han soportado los cofres de combustible agotado sin detrimento esencial de la contención ni reducciones importantes en el blindaje. (Cortesía de Atomic Industrial Forum, Inc.)

Es obvio que muchos accidentes pueden ocurrir a velocidades superiores a 30 millas por hora (unos 50 kilómetros por hora); incluso con el límite de 55 millas por hora establecido en los Estados Unidos, a todos les ha ocurrido que un camión se le adelanta a 60 ó 70 mph (en ocasiones hasta a 80 mph). Para este criterio de diseño la clave es el blanco rígido.

Dureza que ha de tener la superficie rígida

En los reglamentos se define el blanco rígido como un cuerpo de concreto que pese por lo menos diez veces más que el bulto que cae sobre él y que esté recubierto por un mínimo de dos pulgadas (unos 5 centímetros) de acero colocado antes de fraguar el concreto y sometido a vibración para eliminar los bolsones de aire entre el concreto y el acero.* En los Estados Unidos los ensayos con blancos rígidos suelen realizarse en una instalación de los Oak Ridge National Laboratories en Oak Ridge, Tennessee. El blanco de este lugar consiste en 1,2 millones de libras (unos 545 000 kilogramos) de concreto vertido en un foso en la tierra y cubierto con 12 pulgadas (30 centímetros) de acero. Ni siquiera este blanco es infinitamente rígido, pero lo es mucho más que cualquier blanco hecho por el hombre o natural que se pueda encontrar en una vía férrea o una carretera.

* *Advisory Material for the Application of the IAEA Transport Regulations*, Colección Seguridad No.37, OIEA, Viena (1973).

Es decir, que si bien los reglamentos disponen una velocidad que se considera inferior a la real, también disponen un blanco que es mucho más rígido que los reales. Surge, pues, la interrogante de si estas dos condiciones abarcan las que reuniría un accidente real.

Se han realizado numerosos programas de investigación para dilucidar esta cuestión. En los primeros programas se dejaban caer dos cofres idénticos sobre blancos de diferente dureza. En el primero, un cofre de 16 000 libras de combustible agotado de un reactor de investigación se dejó caer sobre el blanco rígido ya descrito desde una altura de 30 pies. Pese a que el cofre resistió debidamente, sufrió daños visibles consistentes en la deformación del casco exterior y cierto desplazamiento del blindaje de plomo situado entre el casco interior y el exterior. Posteriormente se dejó caer un cofre idéntico desde una altura de 2000 pies sobre el suelo indurado del desierto. En este caso el cofre golpeó contra el blanco a una velocidad de 235 mph y penetró 52 pulgadas en el suelo. Los daños sufridos por este segundo cofre se limitaron exclusivamente a rasguños en la pintura.*

En ensayos realizados recientemente para comprobar la misma relación entre la dureza del blanco y los daños que sufre el bulto, se dejó caer una serie de cuerpos de

* *Air Drop Test of Shielded Radioactive Material Containers*, por I.G. Waddoups, SAND75-0276, Sandia National Laboratories, (septiembre de 1975).

¿Y si ... ?

A pesar de la experiencia histórica, las técnicas de análisis del riesgo y las investigaciones en materia de seguridad, en las mentes de algunas personas se mantiene latente la duda: ¿Y si ...? ¿Y si se produjera una fuga en un cofre como resultado de un accidente muy violento? ¿Y si algún terrorista volara un cofre con explosivos, qué sucedería?

Durante 1981 y 1982 se realizó una serie de ensayos con cofres para combustible agotado para evaluar las consecuencias de una agresión con explosivos. Tras ensayar con ocho metodologías diferentes de agresión con explosivos se seleccionó una como norma para los ensayos posteriores. La selección se hizo atendiendo a la disponibilidad de ese tipo particular de explosivo, la probabilidad de que el presunto agresor fuera experto en el uso de esas municiones, y las probabilidades de éxito en el caso de que se utilizaran esos explosivos. Después se realizó una serie de ensayos de agresión con explosivos contra un cofre para expedición de combustible agotado.

Antes de iniciarse la investigación se calculó que si el sabotaje diera resultado, aproximadamente 0,7% del contenido total del cofre de combustible agotado podría fugarse en forma de partículas respirables. El programa investigativo culminó en un ataque con explosivos contra un cofre de tamaño normal realizado dentro de una cámara de grandes dimensiones.

Después de recoger y analizar los escombros se llegó a la conclusión de que sólo se fugó en forma respirable el 0,0006% del contenido en lugar del 0,7% calculado. Si bien el análisis de las consecuencias atendiendo a una fuga de 0,7% indicaba la posibilidad de que ocurrieran cientos de muertes prematuras y miles de cánceres latentes, el mismo análisis de las consecuencias aplicado a la fuga real comprobada indicó que no habría ninguna muerte prematura y el pronóstico de la incidencia de cáncer durante los 30 años siguientes sería de sólo 0,2 casos en toda la población expuesta. Llevando todas las incógnitas a su límite extremo se podrían pronosticar unos 14 cánceres durante el mismo período en la población expuesta.

La población escogida para este análisis fue la de una zona urbana densamente poblada en la que el pronóstico de la incidencia de cáncer sería de unos 250 000 durante el mismo período. Por consiguiente, si bien un ataque con explosivos exitoso contra un cofre de combustible agotado crearía una situación desagradable, ésta no sería imposible de manejar ni tendría repercusiones significativas para la salud pública.

Respuesta ante una emergencia

A pesar de todo, persiste la preocupación acerca de cómo podrían los municipios y estados responder ante un accidente con materiales radiactivos, y sobre todo, ante un accidente grave relacionado con combustible agotado.

Está muy difundida la idea de que no existen las condiciones necesarias para hacer frente a tal emergencia. Nada más lejos de la verdad.

Como resultado del transporte cotidiano de un sinnúmero de otros materiales peligrosos, ya existen en todo el territorio de los Estados Unidos mecanismos bien establecidos para enfrentar emergencias. Estos mecanismos de respuesta ante emergencias operan en tres niveles diferentes y en tres fases diferentes.

El primero en responder cuando ocurre un accidente con materiales que entrañan riesgos suele ser un policía del estado, un policía local, o un departamento de incendios. Todos están capacitados para adoptar medidas de primera respuesta en situaciones de emergencia de todo tipo. Son ellos los responsables de actividades que persiguen dos objetivos. En primer lugar, el agente debe aislar la zona. Esto se logra fijando zonas de exclusión, manteniendo al público a distancia a discreción del agente e intentando salvar las vidas que se encuentran en peligro inminente (por ejemplo, sacar al chofer de un camión de gasolina incendiado). La segunda responsabilidad del que da la primera respuesta es notificar al personal del estado para situaciones de emergencia, ya sea la oficina de la defensa civil, la oficina del gobierno de emergencia, la policía del estado o cualquier otro órgano debidamente constituido y vigente en el estado.

Esta notificación pone en marcha la segunda fase de respuesta. Los encargados de esta segunda fase tienen la responsabilidad de estabilizar la situación para evitar que aumente el peligro existente, y tomar todas las medidas posibles para reducirlo. Esto incluiría sofocar los incendios, neutralizar las sustancias químicas, evitar que el viento o el agua dispersen aún más el material peligroso, y otras actividades similares.

La industria privada y el Gobierno Federal de los Estados Unidos ofrecen una cantidad sustancial de ayuda y asistencia para esta segunda fase. La *Chemical Manufacturers Association* mantiene un sistema de línea directa denominado *Chemtrec* que funciona como fuente de información para brindar al personal local los datos relativos a los materiales afectados por el accidente y asesorarlos respecto de las metodologías de respuesta. Además, el Departamento de Energía de los Estados Unidos, en coordinación con varios organismos federales, mantiene un servicio similar denominado "JNACC" (Joint Nuclear Accident Co-ordinating Center) para dar respuesta a accidentes nucleares en la esfera de la defensa. Este servicio brinda no sólo asesoramiento, sino además, en un lapso razonable, asistencia material.

La tercera fase de respuesta ante un accidente es la fase de recuperación, que está a cargo de organizaciones comerciales cuya tarea es limpiar el lugar del accidente y eliminar todo el material peligroso.

Referencias utilizadas en esta sección:

An Assessment of the Safety of Spent Fuel Transportation in Urban Environs, por R.P. Sandoval, J.P. Weber, H.S. Levine, A.D. Romig, J.D. Johnson, R.E. Luna, G.J. Newton, B.A. Wong, R.W. Marshall, Jr., J.L. Alvarez y F. Gelbard, SAND82-2365, TTC-0398 (junio de 1983).

A Safety Assessment of Spent Fuel Transportation Through Urban Regions, por R.P. Sandoval y G.J. Newton, en *Proceedings of Waste Management '82*, University of Arizona (1982).

Transport of Radionuclides in Urban Environs: A Working Draft Assessment, por A.R. Ducharm et al., SAND77-1927, Sandia National Laboratories (mayo de 1978).

Protection of the Public in the Event of Major Radiation Accident: Principles for Planning, Annals of the ICRP, Publication No.40, Pergamon Press, Oxford (mayo de 1984).

Radioactive Materials Transportation Information and Incident Guidance, US Department of Transportation, DOT/RSPA/MTB-81/4.

Guidance for Developing State and Local Radiological Emergency Response Plans and Preparedness for Transportation Accidents, Federal Emergency Management Agency, FEMA Rep.5 (marzo de 1983).

Preparedness and Response in Radiation Accidents, US Department of Health, FDA83-8211 (agosto de 1983).

Emergency Response Capabilities Developed in the United States to Deal with Nuclear Materials Transportation Accidents, por S.G. Vandevender, R.T. Reese y A.H. Shilling, en *Proceedings of GTA International Symposium on Packaging and Transportation of Radioactive Materials*, Berlín (1980).



El paciente sobrevivió. Para demostrar públicamente la integridad estructural de los cofres de expedición, en julio de 1984 la Central Electricity Generating Board (CEGB) del Reino Unido realizó un ensayo valorado en 2,1 millones de dólares EE.UU. Una locomotora diesel de 140 toneladas que tiraba tres coches de 35 toneladas y se desplazaba a unos 160 kilómetros por hora se proyectó de frente contra un cofre de expedición. Pese a que el impacto lo lanzó a 60 metros, el cofre sólo sufrió algunos rasguños y protegió cabalmente su contenido, consistente en desechos nucleares simulados que no resultaron afectados. El tren quedó totalmente destruido. (Cortesía de la CEGB)

acero desde diversas alturas sobre tres blancos distintos. Los blancos consistieron en tierra compacta, dos pies de concreto reforzado y un blanco rígido. Los resultados de estos ensayos demuestran que el impacto contra un blanco rígido a 30 mph equivale a un impacto a unos 90 mph contra dos pies de concreto reforzado, o un impacto a unos 120 mph contra un pie de concreto reforzado (que equivale aproximadamente al estribo de un puente).^{*} Para lograr semejantes velocidades de impacto sobre blancos que se aproximen a la realidad habría que dejar caer los cofres desde alturas que oscilaran entre 270 pies (90 mph) y 480 pies (120 mph).

Así, pues, aunque el ensayo de caída de 30 pies parece ser benigno, el blanco rígido aumenta la velocidad efectiva del impacto hasta valores que exceden con creces la gama de velocidades que suelen utilizarse en el transporte por tierra.

Ensayos para someter los cofres a fuegos y choques

Aún se mantiene la interrogante de si estos ensayos abarcan realmente el complejo conjunto de condiciones que supone un accidente. Además, existen dudas acerca de la capacidad de los instrumentos de análisis para pronosticar los daños que se producen en condiciones de un "accidente real".

Con miras a evaluar los instrumentos de análisis y acopiar datos acerca de las condiciones que concurren en un accidente, en 1977 y 1978 se llevó a cabo una serie de ensayos en que se reprodujeron choques reales de vagones de ferrocarril y camiones con remolque cargados

de cofres para combustible agotado.^{*} Los cofres se habían retirado de servicio porque ya no cumplían los requisitos de garantía de la calidad vigentes a la sazón. Con estos cofres se efectuó una serie de cinco ensayos, incluidos dos choques de camiones con remolque que cargaban un cofre de combustible agotado.

En el primer ensayo se hizo chocar el vehículo contra un bloque de concreto de 690 toneladas a 60 mph, y en el segundo, a 84 mph. Se utilizó el mismo cofre en ambos ensayos porque en el primero sólo sufrió daños superficiales. En el segundo choque (84 mph) el cofre sufrió una deformación permanente que, sin embargo, estaba totalmente dentro de los límites pronosticados por el análisis.

En el tercer ensayo se hizo chocar una locomotora de 120 toneladas a 81 mph contra un camión con remolque que cargaba otro cofre para combustible agotado del tipo que se usa para carga por camiones. Como resultado del impacto el cofre voló por encima de la locomotora, cayó y fue dando tumbos sobre sí mismo hasta quedar descansando entre los raíles. La locomotora quedó completamente destruida, pero el cofre sólo sufrió daños menores, también en este caso acordes con los pronósticos del análisis.

En el cuarto ensayo se hizo chocar un cofre de combustible agotado del tipo que se emplea en el transporte por ferrocarril contra el mismo blanco de 690 toneladas a 81 mph. En este caso también el cofre se comportó conforme a lo previsto. Es importante señalar que en los cuatro casos, las condiciones que se produjeron en el accidente coincidieron con las que pronosticaron los cálculos y análisis empleados.

^{*} *Relative Response of Type-B Packagings to Regulatory and Other Impact Test Environments*, por J.D. McClure, H.R. Yoshimura, R.B. Pope, R.M. Jefferson, R.D. Seagren y L.B. Shapper, en Actas de PATRAM-80 (noviembre de 1980).

^{*} *Analysis, Scale Modeling, and Full-Scale Testing of Shipping Containers for Radioactive Materials*, por H.R. Yoshimura y M. Huerta, US Department of Commerce, National Bureau of Standards, NBS Special Publication 652.

En el quinto ensayo de la serie se colocó el cofre para combustible agotado montado en rieles junto con su vagón en una piscina de 30 por 60 pies revestida de concreto y llena de JP4 (combustible para aviones de reacción) y se le sometió al fuego durante dos horas y tres minutos. Este ensayo con fuego se efectuó durante un período prolongado para evaluar el comportamiento total del cofre y no para simular un accidente real.

Para prolongar el ensayo tanto tiempo, fue necesario quemar unos 65 000 galones de combustible dentro de una piscina con buena contención. Como resultado de la prolongada exposición al fuego, todo el plomo que contenía el cofre se derritió y la temperatura interna aumentó hasta que se abrió la válvula de seguridad y se expulsó vapor. Una vez más el comportamiento del cofre se ajustó a los pronósticos del análisis térmico realizado antes del ensayo.

Si los cofres utilizados en estos cinco ensayos hubieran contenido combustible agotado, no se hubiera producido ninguna fuga significativa de material radiactivo a la atmósfera como resultado de lo ocurrido en ellos. La información que proporcionaron los ensayos acerca de las condiciones que concurren en un accidente sustenta la conclusión de que los requisitos reglamentarios son realmente más severos que las condiciones reales de los choques en las carreteras y vías férreas. Además,

los ensayos demostraron que el análisis es un método preciso para pronosticar los daños, lo que permite apoyarse en técnicas de diseño comprobadas para fabricar cofres eficaces para las expediciones.

Los riesgos en perspectiva

Este artículo no pretende demostrar que el transporte de combustible agotado está exento de problemas. Más bien presenta una sinopsis de datos objetivos que puede ser útil para situar la seguridad en esta esfera dentro de una perspectiva racional.

El examen de esta cuestión ha llevado al autor a la conclusión de que la sociedad debería invertir los limitados recursos de que dispone para reducir los riesgos (recursos que en última instancia siempre provienen del contribuyente), allí donde pudieran rendir los mayores dividendos en salud y bienestar para los ciudadanos. Dado que el transporte de combustible agotado y de otros materiales radiactivos tiene un historial tan satisfactorio, que entraña un nivel de riesgo muy bajo para el público y que en la actualidad se rige por un reglamento conservador, no parece indicado abogar aquí por medidas más severas de reducción de riesgos. De hecho, en comparación con el universo de riesgos que el público en general acepta cotidianamente, el del transporte de combustible agotado es casi imperceptible.

