

Principios de protección radiológica en que se basa el Reglamento del OIEA para el transporte de materiales radiactivos y experiencia en cuanto al transporte en condiciones normales y de accidente

por A.N. Tse

INTRODUCCION

Los materiales radiactivos tienen muchas aplicaciones en la medicina, la industria y la investigación. Por ello, es preciso su transporte desde los fabricantes a los procesadores, usuarios e instalaciones de evacuación de desechos. Dado que dichos materiales emiten radiaciones que pueden causar daños a los seres humanos y al medio ambiente, es preciso controlarlos durante todo el ciclo, desde su fabricación hasta su evacuación definitiva, incluido su transporte.

Cada año se transportan millones de bultos que contienen materiales radiactivos. En 1975, se realizó una encuesta que indicó un volumen anual de unos 2,5 millones de bultos en los Estados Unidos de América (Ref. [1]). Un tercio aproximadamente de los bultos solo contenía cantidades muy pequeñas de radiactividad. Los medios más corrientes de transporte de estos materiales en los Estados Unidos fueron el camión y el avión de pasajeros, utilizándose principalmente este último para transportar radiofármacos de período corto. La República Federal de Alemania comunicó unos 150 000 envíos en 1975 (Ref. [2]); en Italia, una de las principales empresas dedicadas a la utilización y transporte de radioisótopos transportó en 1978 unos 50 000 bultos (Ref. [3]); en Polonia, se transportaron en 1978 unos 100 000 bultos de materiales radiactivos (Ref. [4]).

PRINCIPIOS DE PROTECCION RADIOLOGICA EN QUE SE BASA EL REGLAMENTO DE TRANSPORTE

Los principios de protección radiológica en que se basa el reglamento de transporte del OIEA provienen sobre todo de las recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR), que se aplican en todos los aspectos de la protección radiológica. Según la publicación N° 9 de la CIPR (Ref. [5]), los objetivos de la protección radiológica son evitar los efectos agudos de las radiaciones y limitar a un nivel aceptable los riesgos de efectos demorados. En dicha publicación se recomiendan límites máximos de dosis para los individuos de la población y para los trabajadores expuestos a las radiaciones por

El Sr. Tse pertenece a la Transportation and Product Standards Branch, US Nuclear Regulatory Commission, Washington D.C., (Estados Unidos de América).

razones profesionales. Dado que toda exposición a las radiaciones puede suponer algún grado de riesgo, la CIPR recomendó además que *se eviten todas las exposiciones innecesarias* y que todas las dosis se reduzcan *al mínimo que razonablemente pueda alcanzarse*, teniendo en cuenta las consideraciones económicas y sociales. La finalidad del reglamento de transporte del OIEA es brindar la debida protección a los individuos de la población y a los trabajadores dedicados al transporte de materiales radiactivos.

Los riesgos radiológicos inherentes al transporte de materiales radiactivos pueden dividirse en dos grupos: los existentes en las condiciones normales de transporte y los resultantes de accidentes. Durante el transporte en condiciones normales, los trabajadores encargados de la manipulación o de la expedición de los bultos de materiales radiactivos quedan expuestos a las radiaciones existentes en el exterior de dichos bultos. Asimismo, los individuos de la población que se encuentren en las proximidades de estos bultos, quedan expuestos a esas radiaciones externas. Las principales medidas de protección son: 1) reducir a valores insignificantes la exposición a las radiaciones externas en la superficie de los bultos o cerca de la misma, empleando materiales de blindaje; 2) especificar la distancia mínima de separación entre los bultos y las zonas ocupadas por personas; 3) reducir al mínimo el tiempo de exposición, cuando sea factible.

En caso de accidente que afecte a bultos de materiales radiactivos, el contenido de dichos bultos podría escapar con el consiguiente peligro, para las personas situadas en las inmediaciones, de exposición a las radiaciones, bien directa o por inhalación o ingestión de sustancias radiactivas. Las principales medidas de protección son: 1) contención de los materiales en embalajes fuertes, de modo que sea improbable el escape del contenido radiactivo o la pérdida de blindaje, incluso en condiciones de accidente; 2) la limitación del contenido de los bultos; 3) la aplicación de procedimientos de garantía de calidad para reducir al mínimo la probabilidad de escape del contenido o la formación de niveles excesivos de radiación externa como resultado de errores humanos.

Los materiales radiactivos potencialmente muy peligrosos han de transportarse en embalajes resistentes a los accidentes. En cambio, los que entrañen pocos riesgos pueden transportarse en embalajes diseñados para resistir solamente las vicisitudes de un transporte normal. Para determinar la peligrosidad potencial se consideran los siguientes factores: los radionucleidos que han de transportarse, sus formas físicas y químicas y la cantidad de radiactividad en cada bulto.

Además de la protección que proporciona el embalaje, el reglamento prescribe que los expedidores y transportistas adopten medidas de control tales como mantener distancias mínimas de separación para reducir a niveles aceptables la exposición de los trabajadores encargados del transporte y la de los individuos de la población. Los requisitos para evitar la criticidad son el diseño de los embalajes, la limitación del contenido y, cuando sea necesario, medidas de control para limitar el número de bultos con materiales fisionables por envío.

DATOS SOBRE LA EXPOSICION DE LOS TRABAJADORES TRANSPORTISTAS Y DE LOS INDIVIDUOS DE LA POBLACION DURANTE EL TRANSPORTE EN CONDICIONES NORMALES

La mayor parte de los bultos que contienen materiales que emiten radiaciones penetrantes van provistos de un blindaje suficiente para que el nivel de radiación fuera de los bultos sea muy bajo. Ahora bien, con frecuencia no es factible el requisito de que los embalajes lleven un blindaje tal que el nivel de radiación externa sea insignificante. Por lo tanto, los individuos de la población o los trabajadores transportistas que se acerquen a los embalajes pueden sufrir pequeñas exposiciones. Seguidamente se resumen los datos relativos a la exposición resultante del transporte en condiciones normales.

Cuadro 1. Individuos de la población: Dosis anuales estimadas resultantes del transporte de materiales radiactivos en los Estados Unidos de América (Ref. [6]) (en condiciones normales de transporte)

Modalidad de transporte y subgrupo de la población		Dosis individual anual (mrem)	Dosis colectiva anual en 1975 (rem-persona)
Vía aérea:	pasajeros	0,34 (prom.)* 108 (máx.)* **	2330
Camión:	en ruta	1,9 (máx.)	172
	fuera de ruta	0,009 (máx.)	348
	en las paradas	1,3 (máx.)	1000
Ferrocarril:	en ruta	no evaluada	0,012
	fuera de ruta	0,017 (máx.)	23
Vía acuática:	personas en la zona portuaria	no evaluada	0,9
	Personas en las inmediaciones de la zona de almacenamiento	no evaluada	0,4

* promedio
** máximo

Individuos de la población (excluidos los trabajadores transportistas)

Son varios los subgrupos de la población que pueden quedar expuestos a las radiaciones como consecuencia de la expedición de materiales radiactivos: las personas que viajen en aviones de pasajeros que transporten radiofármacos; las personas que viajen por tierra en vehículos que sigan la misma ruta que los envíos de materiales radiactivos (en ruta), y las personas situadas a lo largo de dicha ruta (fuera de ruta).

Se supone que la exposición de los individuos de la población es muy baja. El Cuadro 1 indica las dosis equivalentes anuales estimadas para diversos subgrupos de la población, en base a un estudio de evaluación de riesgos realizado en los Estados Unidos de América (Ref. [6]). La dosis máxima anual, 108 milirem (mrem), para los pasajeros de aviones, se ha calculado según hipótesis muy prudentes, que suponen que un pasajero vuela 500 horas al año entre los dos aeropuertos de los Estados Unidos que tienen las cifras más altas de tráfico de materiales radiactivos. Ahora bien, en la práctica, es extremadamente improbable que un pasajero reciba tal dosis. A efectos de comparación, la dosis media de radiación procedente de fuentes naturales recibida por individuo en los Estados Unidos de América es de unos 100 (mrem) al año, y la dosis colectiva anual resultante de la radiación natural en los Estados Unidos de América es de unos 20 millones de rem-persona.

Trabajadores transportistas

La cantidad de radiación recibida por un trabajador transportista depende del número de bultos que haya de manipular y de los niveles de radiación externa existentes alrededor de dichos bultos. Se supone que la mayor parte de los trabajadores que intervienen en el transporte de materiales radiactivos reciben dosis anuales mucho menores que la dosis límite

Cuadro 2. Trabajadores transportistas: Dosis anuales estimadas resultantes de la expedición de materiales radiactivos (en condiciones normales de transporte)

Lugar	Modalidad de transporte y subgrupo de población	Dosis individual anual (mrem)	Dosis colectiva anual (rem-persona)
Estados Unidos de América (Ref. [6]) (Total de bultos transportados en 1975: aprox. 2,5 millones)	Vía aérea: pilotos	0,53 (prom.)*, 2,5 (máx.)**	16
	auxiliares de vuelo	6 (prom.), 13 (máx.)	112
	personal de tierra	85 (máx.)	11
	Camión: dotación	870 (máx.)	2580
	personal de almacenamiento	500 (máx.)	261
	Ferrocarril: dotación	1,2 (máx.)	0,9
	personal de almacenamiento	25 (máx.)	0,7
	Vía acuática: tripulación	3,7 (máx.)	5,7
	estibadores	no evaluada	1,1
Francia (Ref. [7])			
Saclay	Camión: dotación		
	1976 (7 personas)	25 (prom.)	0,17
	1977 (8 personas)	22 (prom.)	0,18
	1978 (8 personas)	42 (prom.)	0,34
Cadarache	Camión: dotación		
	1976 (21 personas)	166 (prom.)	3,48
	1977 (33 personas)	62 (prom.)	2,06
	1978 (32 personas)	254 (prom.)	8,14

* promedio

** máximo

que recomienda la CIPR para los individuos de la población. Sin embargo, en algunos casos, cuando se expiden grandes cantidades de bultos por una sola instalación, es posible que algunos trabajadores transportistas reciban dosis anuales superiores al límite fijado para los individuos de la población. Dichos trabajadores deberían ser objeto de un programa de protección radiológica, con instrucción, entrenamiento y vigilancia adecuados.

En los Estados Unidos de América y en otros países se han realizado encuestas para calcular las dosis recibidas por diversos grupos de trabajadores transportistas. En el Cuadro 2 se resumen algunos de los resultados. Según las cifras comunicadas por Italia, las dosis equivalentes medias anuales recibidas en 1978 por los conductores dedicados al transporte por carretera fueron de unos 160 mrem, y la dosis máxima fue de unos 1300 mrem (Ref. [3]). Según lo comunicado por Polonia, en 1978 las dosis anuales de los cinco conductores sometidos a vigilancia oscilaron entre 50 y 530 miliroentgens (mR), con una dosis media anual de 270 mR (Ref. [4]).

EXPERIENCIA EN CUANTO A ACCIDENTES DE TRANSPORTE

Durante los últimos 30 años, se han transportado por diversos medios millones de bultos de distintos tipos de materiales radiactivos y fisionables, inclusive desechos de reactores y

combustibles irradiados. Un número muy reducido de estos bultos fue afectado por accidentes, y en un número todavía menor hubo algún escape del contenido radiactivo o un aumento del nivel de radiación fuera de los bultos.

En un período de 5 años (de 1971 a 1975), se comunicaron al Departamento de Transporte de los Estados Unidos 144 accidentes que afectasen a materiales radiactivos (Ref. [8]). En 36 casos, hubo algunos indicios de escape del contenido o de un excesivo nivel de radiación. La mayor parte de los escapes originaron ligeras contaminaciones, pues los bultos contenían materiales de baja radiactividad.

En el Reino Unido, según datos comunicados por el Centro Radioquímico de Amersham, entre más de 200 000 bultos transportados al año, solo uno ha sido afectado por un accidente de aviación importante (Ref. [9]). El avión ardió y el cartón exterior del bulto se destruyó, pero no hubo escape de radiactividad. Por término medio, cada mes aproximadamente ha resultado dañado uno de los bultos expedidos desde Amersham, debido a manipulación descuidada en algún aeropuerto (generalmente aplastado por un vehículo durante operaciones mecánicas). Solo en un caso hubo escape de material radiactivo y difusión considerable de contaminación.

En Polonia, la experiencia en cuanto a accidentes en el período 1971—1975, muestra que han ocurrido ocho accidentes de transporte que afectaron a materiales radiactivos (Ref. [10]). Ninguno de éstos tuvo consecuencias significativas desde el punto de vista radiológico. Solamente en dos casos se contaminaron pequeñas zonas alrededor de los medios de transporte y en un caso se contaminó la zona de carga interior de un vehículo.

India ha comunicado que, de más de 70 000 bultos de materiales radiactivos enviados desde Trombay, solo cuatro sufrieron accidentes (Ref. [11]). Tres fueron atropellados por vehículos en los aeropuertos durante su trasbordo. Aunque el embalaje exterior y los contenedores de hojalata quedaron deformados, los frascos que contenían los materiales radiactivos resultaron intactos, no habiéndose hallado ninguna contaminación en las superficies externas de los bultos dañados. El cuarto accidente afectó a un aparato de irradiación gamma. El bulto salió despedido del camión y cayó en una corriente de unos 5 metros de profundidad, a causa de un accidente del vehículo. No se registró aumento alguno del nivel de radiación en la superficie externa del contenedor de blindaje, ni daño alguno de los elementos mecánicos internos.

Ha habido varios accidentes recientes. A continuación se describen brevemente tres de ellos, dos ocurridos en los Estados Unidos de América y uno en el Canadá. En septiembre de 1977, un tractor-remolque cargado con unas 18 toneladas de concentrado de uranio natural (torta amarilla), contenido en bidones de acero de unos 250 litros, volcó tras haber chocado con tres caballos en una zona agraria de Colorado (Ref. [12]). Treinta y dos de los cincuenta bidones salieron despedidos por la parte superior delantera del remolque, derramándose un total de unos 5400 kg de concentrado. Para evitar la diseminación del material por el viento, se cubrió enseguida el camión y la zona afectada por el derrame con gruesas hojas de plástico. Las operaciones de limpieza se terminaron en 10 días. Se midieron las dosis de radiación recibidas por el personal de limpieza y la concentración en las proximidades de la zona limpiada. Los resultados indicaron que la absorción de uranio por individuos de la población y por el personal de limpieza fue mucho menor que la necesaria para producir efectos perjudiciales para la salud.

El 21 de marzo de 1977, cerca de Rockingham, North Carolina (Estados Unidos de América) (Ref. [13]), descarriló un tren que transportaba 4 cilindros de acero (con capacidad para 8500 kg de uranio cada uno) que contenían hexafluoruro de uranio natural. Los cilindros estaban montados sobre soportes de acero sólidamente fijados a remolques, que a su vez eran transportados en vagones plataforma en la forma corrientemente denominada "piggyback".

Los cuatro remolques y cilindros quedaron dañados en el descarrilamiento. Tres cilindros salieron proyectados fuera de los restos del tren. El cuarto cilindro quedó entre dichos restos expuesto al fuego que originó un vagón cargado de nitrato amónico. No hubo ningún escape, ninguna rotura de los contenedores ni contaminación radiactiva alguna. Los cilindros de acero quedaron abollados pero no se rompieron.

En diciembre de 1976, en Laterriere, Quebec (Canadá) un camión que transportaba 40 000 litros de gasolina chocó con un camión parado que llevaba un medidor de densidad con una fuente de cesio-137 (Ref. [14]). Se produjo un fuego que duró unos 90 minutos. El medidor perdió su blindaje de plomo, probablemente a través de un agujero mientras el plomo estaba fundido a causa del incendio, lo que produjo un campo de radiaciones máximo de 3 rems por hora en la superficie. No hubo contaminación radiactiva.

Puede producirse el escape de materiales radiactivos o el aumento del nivel de radiación externa durante el transporte como resultado de errores humanos o medidas insuficientes de control de calidad. A continuación se describen dos casos, ocurridos en los Estados Unidos de América. En diciembre de 1971, un avión de pasajeros quedó contaminado por los escapes de un bulto que contenía molibdeno-99; antes de que se descubriese la contaminación, habían viajado en el avión 917 pasajeros (Ref. [15]). El avión fue retirado del servicio y descontaminado. El accidente se notificó por teléfono y a través de la prensa a los pasajeros que habían volado en él. Se establecieron puntos de reconocimiento médico en diez ciudades en las que el avión había aterrizado. Los resultados de los reconocimientos indicaron que ni los pasajeros ni los empleados habían corrido riesgo personal alguno en cuanto a su salud. Se hallaron numerosas piezas de equipaje con una ligera contaminación. Se descontaminaron y se devolvieron a sus propietarios.

En abril de 1974, un cambiador de fuentes de radiación gamma, que contenía iridio-192, fue transportado en un avión de pasajeros desde Washington D.C. a Atlanta (Georgia) y transbordado después a otro vuelo con destino a Louisiana (Ref. [16]). En el punto de destino, se descubrió que el bulto estaba defectuosamente blindado, lo que produjo elevados niveles de radiación externa. Las estimaciones efectuadas para los peores casos, basadas en estudios de tiempos y movimientos, indicaron que los trabajadores transportistas podían haber recibido dosis comprendidas entre un valor mínimo y unos 134 roentgen (R) por persona. Se realizaron mediciones para determinar, por simulación, las exposiciones sufridas en los peores casos por los pasajeros durante el accidente. Los resultados indicaron que la exposición más elevada al nivel de los asientos fue de unos 4,6 R/hora.

EVALUACION DE RIESGOS

La evaluación de riesgos, en el caso del transporte de materiales radiactivos, se efectúa con el fin de cuantificar los efectos sobre las personas y el medio ambiente, y de prever los efectos de los envíos futuros. Estos efectos pueden comprender la exposición a las radiaciones durante el transporte en condiciones normales o en condiciones de accidente. Se presta especial atención a los efectos radiológicos sobre la salud, pero se evalúan todas las repercusiones sobre el medio ambiente, tanto radiológicas como no radiológicas. Los resultados de la evaluación pueden suministrar información sobre la idoneidad de los controles reglamentarios vigentes. Los mismos métodos pueden utilizarse para el análisis, desde el punto de vista costos-beneficios, de otras posibilidades.

Se han efectuado muchas evaluaciones de riesgos, por parte de diversos países, en la esfera del transporte de los materiales radiactivos. A título ilustrativo se examinan brevemente a continuación dos evaluaciones de riesgos en los Estados Unidos, una concluida y otra en curso. La primera se refiere a las repercusiones sobre el medio ambiente en general del transporte de materiales radiactivos hacia, dentro y a partir de los Estados Unidos (Ref. [6]). Las

repercusiones radiológicas y no radiológicas se han calculado en base a los datos de transporte reunidos gracias a una encuesta efectuada en 1975 en los Estados Unidos. Dichos datos se han extrapolado a 1985 y se han evaluado las dosis de radiación recibidas por los trabajadores transportistas y por individuos de la población. Los riesgos derivados de los accidentes de transporte se han estimado en función de la probabilidad de éstos y de las exposiciones a las radiaciones supuestas para cada una de las ocho categorías en que se dividen los accidentes por su gravedad. Se han considerado otras condiciones de transporte y se han evaluado la variación correspondiente de los riesgos.

Los resultados de la evaluación indican que los riesgos radiológicos derivados de los materiales radiactivos son reducidos. Las consecuencias de un escape importante de plutonio o de polonio en una zona densamente poblada podrían ser sensibles, pero la probabilidad de tal suceso es sumamente pequeña. En los Cuadros 1 y 2 se indican algunas de las dosis individuales y colectivas estimadas en la evaluación.

Como continuación de esta evaluación general, se inició otra investigación en los Estados Unidos para obtener información sobre el transporte de materiales radiactivos en las zonas urbanas. En 1978 se publicó una evaluación preliminar con fines de trabajo (Ref. [17]). Este segundo estudio considera las características especiales de los entornos urbanos, tales como la elevada densidad de población y sus variaciones diarias, los efectos de blindaje de los edificios, los efectos de la meteorología y micrometeorología locales y la convergencia del transporte. Para el desarrollo del modelo se ha tomado en consideración la ciudad de Nueva York, pero los métodos empleados son aplicables a otras zonas urbanas.

CONCLUSION

La experiencia adquirida en los últimos 30 años demuestra que el transporte de materiales radiactivos ha alcanzado un alto grado de seguridad. Se ha comprobado que, en condiciones normales de transporte, las dosis individuales permanecen dentro de los límites recomendados por la CIPR. La experiencia en materia de accidentes indica que, si bien éstos se producen, sus consecuencias radiológicas no son graves. Por lo tanto, se concluye, que en general, los reglamentos de transporte son adecuados y eficaces.

Sin embargo, a fin de tener en cuenta la experiencia operacional, los adelantos técnicos y el aumento continuo del número de expediciones de materiales radiactivos, se examinan de vez en cuando los reglamentos de transporte y su eficacia. El OIEA tiene programado un examen general de su reglamento cada diez años. La próxima revisión está proyectada para 1983 y ya se han iniciado los trabajos. La finalidad de este examen es tener la seguridad de que el reglamento se mantiene técnicamente al día, al objeto de reducir las dosis de radiación para todos los individuos expuestos al nivel menor que razonablemente pueda alcanzarse, con el fin de evitar toda exposición innecesaria y de reducir aún más los ya pequeños riesgos de accidente, y ello de manera racional desde el punto de vista económico.

Referencias

- [1] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Transport of Radioactive Material in the U.S.," NUREG-0073, Washington, D.C. (Mayo de 1976).
- [2] Hartwig, S. y otros, "Weak-Point Analysis and Risk Assessment in the Transportation of Radioactive Materials in Germany" (Actas del 5º Simp. Int. sobre "Packaging and Transportation of Radioactive Materials", Las Vegas, 1978), II, págs. 968-975, Sandia Laboratories, Albuquerque, Nuevo México (EE.UU.) (1978).
- [3] Swindell, G.E., "Synopsis of Some Transport Studies in Member States," AG-225 Paper 2, págs. 8-11, OIEA, Viena (Mayo de 1979).
- [4] Musialowicz, T., "Personal Monitoring of Transport Workers in Poland," AG-225, Paper 17, OIEA, Viena (Julio de 1979).
- [5] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Publicación de la CIPR No. 9, Pergamon Press, Oxford (1966).

- [6] U.S. Nuclear Regulatory Commission, "Final Environmental Statement on the Transportation of Radioactive Material by Air and Other Modes," NUREG-0170, Vol. 1, Washington, D.C. (Diciembre de 1977).
- [7] Hamard, J., "Radiation Doses Received by One Category of Transport Personnel in C.E.A." AG-225, Paper 18, OIEA, Viena (Julio de 1979).
- [8] Grella, A.W., "A Review of Five Years (1971-1975) Accident Experience in the USA Involving Nuclear Transportation" (Actas del Sem. sobre "Transport Packaging for Radioactive Materials", Viena, 1976), págs. 225-240, OIEA-SR-10/5, Viena (1976).
- [9] Taylor, C.B.G., "Packaging and Transport of Radioisotopes" (Actas del Sem. sobre "Transport Packaging for Radioactive Materials", Viena, 1976), págs. 71-89, OIEA-SR-10/45, Viena (1976).
- [10] Dyz, S. y otros, "Transport Experience with Type A and Type B Packages in Poland" (Actas del Sem. sobre "Transport Packaging for Radioactive Materials", Viena, 1976), págs. 241-248, OIEA-SR-10/40, Viena (1976).
- [11] Deshpande, R.G. y otros, "Design and Construction of Packages for the Transportation of Radioisotopes," (Actas del Sem. sobre "Transport Packaging for Radioactive Materials," Viena, 1976), págs. 91-102, OIEA-SR-10/38, Viena
- [12] Hornsby, R.T. y otros, "A Highway Accident Which Involved a Spill of Natural Uranium Oxide Concentrate", (Actas del 5º Simp. Int. sobre "Packaging and Transportation of Radioactive Materials", Las Vegas, 1978), II, págs. 623-630, Sandia Laboratories, Albuquerque, Nuevo México (EE.UU.).
- [13] Teer, B.R., "Uranium Hexafluoride Cylinders Survive Train Derailment", (Actas del 5º Simp. Int. sobre "Packaging and Transportation of Radioactive Materials", Las Vegas, 1978), II, págs. 612-614, Sandia Laboratories, Albuquerque, Nuevo México (EE.UU.) (1978).
- [14] McLellan, J.J. y otros, "Damage and Thermal Exposure of a Radioactive Material Package in an Accident and Gasoline Fire," (Actas del 5º Simp. Int. sobre "Packaging and Transportation of Radioactive Materials", Las Vegas, 1978), II, págs. 615-622, Sandia Laboratories, Albuquerque, Nuevo México (EE.UU.) (1978).
- [15] National Transportation Safety Board, "Special Study of the Carriage of Radioactive Materials by Air," NISB-AAS-72-4, Washington, D.C. (Abril de 1972).
- [16] Louisiana Division of Radiation Control, "Report of Shipping Incident Involving Gamma Industries Model C-10 Source Exchanger Sent From Value Engineering to Gamma Industries Via Delta Air Lines and Quick Delivery Service, abril 5-8, 1974," Baton Rouge, Louisiana (EE.UU.) (Junio de 1974).
- [17] DuCharme, A.R., "Transport of Radionuclides in Urban Environs: Working Draft Assessment," SAND 77-1927, Sandia Laboratories, Albuquerque, Nuevo México (EE.UU.) (Mayo de 1978).