

Evacuación de radionucleidos en el mar

por D. Van As y Wm.O. Forster

INTRODUCCION

La evacuación de todo tipo de desechos en el océano es una práctica ya arraigada. Sin embargo, la vía que han de seguir hacia el mar difiere según la naturaleza de los desechos. Los desechos líquidos y los desagües se descargan, por lo general, a través de tuberías situadas en la costa; otros llegan hasta el mar por las vías naturales que constituyen los grandes ríos. Los buques vierten en las aguas más profundas, alejadas de la costa, desechos sólidos y semilíquidos y, algunas veces, desechos líquidos.

En la industria nuclear todo material de desecho que pudiera remotamente haber sido contaminado, se considera generalmente radiactivo y, por lo tanto, exige una manipulación y unos métodos especiales de evacuación. Parte importante de los materiales estructurales y operacionales que se utilizan en los centros nucleares pueden llegar a ser, en último término, desechos de baja actividad. Los centros nucleares generan una gran variedad de residuos, tales como desperdicios químicos, vidrios rotos, filtros usados, escombros de descontaminación, equipo desmantelado, aparejos de prueba y materiales combustibles tales como papeles, madera, tejidos y algunos plásticos. Análogamente, el uso creciente de radioisótopos en la industria y con fines terapéuticos y de diagnóstico en la medicina originan una acumulación de desechos que, aunque de baja contaminación, deben considerarse como radiactivos a los efectos de su evacuación.

Actualmente esos desechos se producen en cantidades importantes en muchos países. Su tratamiento y evacuación entraña un problema para el desarrollo de la energía nuclear, y algunos países consideran los océanos como un posible medio para el aislamiento en condiciones de seguridad de tales desechos.

CONVENIO SOBRE LA PREVENCION DE LA CONTAMINACION DEL MAR POR VERTIMIENTO DE DESECHOS Y OTRAS MATERIAS

La necesidad de contar con reglamentos y normas aceptables a nivel internacional para evitar la contaminación del mar fue por primera vez reconocida por la Conferencia sobre el Derecho del Mar patrocinada por las Naciones Unidas. Esta Conferencia aprobó la Convención sobre la Alta Mar de 1958, en la que se estipula que las organizaciones internacionales competentes formulan tales normas y reglamentos.

Durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, volvió a expresarse la necesidad de medidas internacionales para controlar la contaminación de los mares. Posteriormente, en noviembre de 1972, una conferencia

El Sr. Van As y el Sr. Forster son funcionarios de la Sección de Gestión de Desechos de la División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente del OIEA.

intergubernamental celebrada en Londres aprobó el Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias (en adelante llamado el Convenio en este artículo).

Según los términos del Convenio, se requiere establecer el control internacional de todas las fuentes de contaminación del medio marino, especialmente de "toda evacuación deliberada en el mar de desechos u otras materias efectuada desde buques, aeronaves, plataformas u otras construcciones en el mar" y todo hundimiento deliberado en el mar de buques, aeronaves, etc. La contaminación resultante de las operaciones normales de los buques, aviones, ect. o directamente efecto de la exploración y explotación de los recursos minerales de los fondos marinos queda excluida del ámbito del Convenio. Tampoco se incluyó en el mismo la contaminación procedente de fuentes situadas en tierra a través de ríos y tuberías costeras o submarinas.

El objetivo del Convenio es evitar toda contaminación del mar como consecuencia de vertimientos que puedan constituir peligros para la salud humana, dañar los recursos biológicos y la vida marina, reducir las posibilidades de esparcimiento o entorpecer otros usos legítimos del mar.

El Convenio define tres categorías de materiales, a saber: i) aquellos cuyo vertimiento en el océano está prohibido; ii) aquellos que requieren un permiso especial para su vertimiento; iii) otros desechos o materias que requieren solamente un permiso de carácter general. Los desechos radiactivos y otras sustancias radiactivas quedan comprendidas en las categorías i) y ii). Se ha confiado al OIEA la responsabilidad de definir los desechos de alta actividad u otras sustancias altamente radiactivas cuyo vertimiento está prohibido, así como la formulación de recomendaciones para la concesión de permisos especiales para el vertimiento de materiales radiactivos que quedan fuera de esta definición. Estos materiales quedarán entonces comprendidos en la categoría ii).

El Convenio entró en vigor el 30 de agosto de 1975 y hasta la fecha ha sido ratificado por 39 países. La Organización Consultiva Marítima Intergubernamental (OCMI) se ocupa de las funciones de secretaría que exige la aplicación del Convenio.

DEFINICIONES Y RECOMENDACIONES PROVISIONALES DEL OIEA

Durante 1973 y 1974, el Organismo convocó varios grupos asesores y consultivos para que ayudasen a formular una definición provisional de los desechos de alta actividad o de otras sustancias de alta actividad impropias para su vertimiento en el mar. Se formuló una definición provisional basada en el concepto de la capacidad limitada del mar profundo, con una profundidad superior a 2 000 metros. Esta capacidad corresponde a la entrada anual de radionucleidos que ocasionarán dosis individuales de irradiación a través de las vías críticas igual a la dosis límite para los individuos de la población en general. Estos límites de dosis son los recomendados por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR), es decir 500 mrem al año.

La Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE) ha calculado la capacidad de la parte nordeste del Océano Atlántico, a efectos de evacuación, utilizando un modelo oceanográfico elaborado por Webb y Morley (Ref. [1]). Esta zona particular, así como el modelo utilizado, se consideran representativos. La definición provisional del OIEA se basó en este cálculo. Utilizando la capacidad calculada de esta cuenca oceánica, se introdujeron factores de seguridad para tomar en cuenta a) los emplazamientos de vertimientos que pudieran ser menos favorables que el que se utilizó en los cálculos (factor 100); b) el vertimiento múltiple en cualquier zona determinada (de nuevo un factor 100). Se consideró que esta introducción intencionada de un factor

explícito de seguridad de 10 000 por encima de un factor de seguridad implícito estimado de unos 10 000 debido al carácter prudente del cálculo, aseguraría la protección del hombre y del medio marino.

Para lograr los objetivos del Convenio resultó necesario expresar la definición en términos de concentración de radionucleidos. Para conseguir esto, las tasas de descarga se dividieron por un límite superior hipotético de la tasa anual de vertimiento masivo de 100 000 toneladas por año para un lugar determinado de vertimiento. Los resultados de esta definición provisional de desechos de alta actividad improprios para su vertimiento se indican en el Cuadro 1. Además, se formularon recomendaciones a las autoridades nacionales con respecto a ciertos requisitos mínimos para el vertimiento de desechos radiactivos con concentraciones inferiores a esos desechos de alta actividad. Estos requisitos comprenden la evaluación ambiental, la selección de emplazamientos, los embalajes, y la vigilancia y control de las operaciones de evacuación y deben cumplirse antes de que se concedan los permisos.

En su primera reunión consultiva celebrada en septiembre de 1976, las Partes Contratantes en el Convenio de Londres (es decir, las Partes Signatarias del acuerdo) aceptaron la definición y las recomendaciones provisionales a los fines del Convenio. Sin embargo, esas Partes Contratantes pidieron al OIEA que perfeccionase la definición y las recomendaciones.

Cuadro 1. Definición del OIEA de los desechos de alta actividad no apropiados para su vertimiento en los océanos

Grupos de Radionucleidos	Provisional (sept. de 1976) INFCIRC 205/Add.1 Ref [3] Ci/tonelada de desechos	Revisado (oct. de 1978) INFCIRC 205/Add.1/Rev.1 Ref [3] Ci/tonelada de desechos
1. ^{226}Ra	10^2 Ci/año	10^{-1} (10^4 Ci/año)
2. Emisores generales alfa	10	1
3. ^{90}Sr y $^{137}\text{Cs}^*$	10^2	10^2
4. Emisores generales beta	10^3	—
5. Tritio**	10^6	10^6

(Supone un límite superior de la tasa de vertimiento masivo de 100 000 toneladas al año.)

* En la definición revisada, este grupo comprende todos los emisores beta-gamma con un semiperíodo de desintegración superior a 6 meses.

** En la definición revisada, este grupo comprende los emisores beta-gamma con un semiperíodo de desintegración inferior a 6 meses.

DEFINICION Y RECOMENDACIONES REVISADAS

Se temía que el modelo oceanográfico utilizado en la definición no reflejase debidamente el proceso efectivo de dispersión física en el océano, y han surgido dudas sobre su utilidad para predecir los niveles de concentración en el agua, incluso durante breves períodos de tiempo. Fundamentalmente, el modelo no era apropiado para la evaluación de niveles de concentración para períodos superiores a unos centenares de años y no se refería explícitamente a muchas de las posibles vías biológicas que los radionucleidos pudieran seguir a través del medio marino.

Al revisar el modelo oceanográfico en diciembre de 1976, se reconoció que los conocimientos actuales de los procesos oceanográficos eran insuficientes y que ningún modelo completo, por sí solo, podía describir el movimiento de radionucleidos desde el fondo del océano a través del medio marino hasta llegar al hombre. El modelo oceanográfico elaborado por Shepherd (Ref [2]), se consideró el mejor de los modelos disponibles, particularmente para los transportes de larga duración (de más de 100 000 años) en una cuenca oceánica finita. Este modelo tiene una validez razonable en los períodos de tiempo medios y más breves (menos de 500 años). Calcula la concentración de equilibrio que se alcanzaría tras una descarga continua de radionucleidos en el agua, cerca del fondo oceánico, mantenida indefinidamente, y permite efectuar estimaciones de la concentración, en toda la columna de agua. Se utilizó un volumen nominal de 10^{17} metros cúbicos para una cuenca oceánica general.

Puesto que las vías biológicas pueden interrumpir el transporte de radiactividad desde los fondos marinos y aguas profundas hasta el hombre, no puede garantizarse el aislamiento de esta radiactividad con respecto al hombre y a su cadena alimentaria. Por lo tanto, se partió del supuesto de una difusión vertical muy lenta, a fin de que la radiactividad permanezca principalmente en las capas profundas. Se supuso entonces que estas aguas de los fondos son el origen de todas las vías críticas hacia el hombre. Se supuso, además, que la práctica del vertimiento en los océanos y las descargas de los radionucleidos resultantes en las aguas profundas de los océanos continuará uniformemente durante un período de 40 000 años, es decir, durante la vida media del plutonio 239¹. Esta es una hipótesis prudente, puesto que no es probable que se siga produciendo energía mediante la fisión nuclear después de transcurridos unos pocos siglos, incluso con los reactores reproductores.

La acumulación de radionucleidos de larga vida en las aguas marinas durante este período depende del semiperíodo de desintegración del radionucleido. El modelo Shepherd no toma en cuenta ciertos fenómenos oceanográficos físicos de pequeña escala y de breve duración que pueden producirse y que afectarían zonas determinadas en vez de cuencas oceánicas, por lo que dichos fenómenos se estudiaron por separado. Entre estos fenómenos figuran las corrientes ascendentes desde las aguas profundas y las corrientes horizontales, persistentes y fuertes, de las aguas de los fondos oceánicos. En el caso de los radionucleidos de semiperíodos de desintegración inferiores a unos 500 años, estos fenómenos localizados producen concentraciones más elevadas que las de los fenómenos de larga duración, que afectan a todo el océano.

Al calcular con mayor precisión los límites de las tasas de descarga, se establece una distinción entre descargas desde un solo emplazamiento y descargas desde múltiples emplazamientos en la misma cuenca oceánica. En el caso de los radionucleidos de semiperíodos de desintegración superiores a 500 años, la tasa de descarga queda limitada por los procesos en

¹ La "vida media" toma en cuenta el semiperíodo de desintegración de un radionucleido, así como los procesos biológicos y otros procesos de reciclado que se producen en los océanos.

gran escala que afectan a todos los emplazamientos de la cuenca oceánica. Para los nucleidos de breve período de desintegración, el límite de la tasa de descarga de un solo emplazamiento es más restrictivo que para la cuenca oceánica en su conjunto. En este caso, el límite de la cuenca solo puede utilizarse distribuyendo los desechos entre diferentes emplazamientos.

En la evaluación radiológica, los límites de las tasas de descargas se calcularon para 80 de los radionucleidos más importantes que pudieran estar presentes en los desechos procedentes del ciclo del combustible nuclear, así como para los procedentes de otras fuentes. Se escogieron 12 vías generales que pudieran conducir a la exposición del hombre en la zona costera, entre ellas algunas que se sabe que existen y algunas que pueden ser importantes en el futuro. Cinco de estas vías suponen el consumo de alimentos marinos, cuatro vías suponen la exposición de los habitantes de las costas y tres vías diversas corresponden a prácticas tales como los baños de mar, el consumo de agua desalada, y el empleo de sal marina para usos domésticos. Los valores de los parámetros utilizados en estos cálculos se mantuvieron en el nivel más general posible utilizando datos procedentes de zonas de gran consumo de alimentos marinos y de densa utilización de las playas.

Los límites de las tasas de descarga calculados para las diferentes vías son los que corresponderán a un límite de dosis de la CIPR (500 mrem al año) con respecto a la persona más expuesta, lo que representa un límite superior que no debe ser objeto de aproximación. Utilizando la vía crítica para cada radionucleido, se obtuvo el límite resultante de la tasa de descarga para cada uno de los radionucleidos. Por razones de comodidad administrativa y sencillez analítica, los radionucleidos se agruparon en tres categorías, según las propiedades básicas del tipo de desintegración y semiperíodo de desintegración, y los límites resultantes de las tasas de descarga representaron entonces el valor del radionucleido más restrictivo del grupo determinado.

Se llegó a una conclusión importante, a saber, que no es probable que, en el caso de la descarga continua de radionucleidos en el océano profundo, la concentración inicial en la fuente sea importante al determinar el peligro para el hombre; es el efecto total resultante de todas las fuentes radiactivas el que debe controlarse.

Sin embargo, a los efectos del Convenio de Londres, las tasas de descarga se dividieron de nuevo por la tasa hipotética superior de vertimiento de 100 000 toneladas al año. A continuación, se calcularon los valores revisados para la definición, valores que figuran en el Cuadro I. Debe observarse que estas cifras definen materiales inapropiados para su vertimiento y no deben interpretarse en el sentido de que los materiales en que la concentración es inferior a la especificada en la definición se consideran por ello apropiados para su vertimiento.

Las recomendaciones revisadas subrayan firmemente que las autoridades nacionales responsables deben cumplir las últimas recomendaciones de la CIPR, en lo tocante a la justificación y optimación, cuando concedan permisos especiales para el vertimiento de materiales radiactivos. Se recomienda que se efectúe una detallada evaluación, ambiental y ecológica, en la que se calculen los compromisos de dosis para la población a través de las vías críticas, se estudie el riesgo para los ecosistemas y se compare la relación costos generales-eficacia de la operación con estrategias alternativas tales como la evacuación en tierra firme.

Se señalan además otros requisitos para los lugares de vertimiento. Entre ellos, una profundidad mínima de 4 000 metros, que queda por debajo de las profundidades en que la pesca es económica, así como la toma de precauciones contra la afloración accidental de los bultos que contienen desechos radiactivos. Los emplazamientos deben situarse lejos de las márgenes continentales y de las islas y no en los mares internos o en zonas de posible explotación pesquera o de los recursos de los fondos marinos. Deben evitarse las zonas que se caractericen por ciertos fenómenos naturales, tales como la actividad volcánica.

Además, los desechos deben estar en forma sólida y envasados de forma tal que lleguen intactos al fondo del mar.

EVALUACIONES ESPECIFICAS DE LOS LUGARES DE VERTIMIENTO

Los cálculos utilizados para formular la definición revisada se basan en parámetros generalizados. Cuando no se ha dispuesto de datos específicos se han utilizado hipótesis prudentes. Aunque existen grandes incertidumbres, las tasas de descarga calculadas representan las mejores estimaciones posibles por el momento. Para las evaluaciones específicas de los lugares de vertimiento, revisten particular importancia los valores de parámetros clave, tales como:

- las corrientes bentónicas que pudieran afectar a la dispersión a corto plazo de la radiactividad y su regreso hacia el hombre.
- el tiempo de tránsito, que comprende el período de vida del contenedor y la transferencia del contenido a través de la cadena alimentaria hasta el hombre.
- la actividad biológica marina, es decir, el conocimiento de los organismos clave de las proximidades del lugar de vertimiento, de los factores de concentración de radionucleidos críticos, y de las vías de regreso de estos radionucleidos hasta el hombre.
- las interacciones sedimento-agua. La distribución de radionucleidos descargados de los contenedores determinará su disponibilidad para nueva transferencia.
- las aportaciones de otras fuentes de radiactividad, las cuales deben tomarse en consideración, ya que la definición se refiere a la exposición a todas las fuentes de radiactividad que no sean fuentes naturales.

COORDINACION Y EXPERIENCIA DE LA AEN

En 1977, la Junta de la OCDE estableció un mecanismo multilateral de consulta y vigilancia para los vertimientos de desechos radiactivos en el mar a fin de facilitar el cumplimiento de los objetivos del Convenio. Este mecanismo facilitó la cooperación regional en la aplicación y fomento efectivos de medidas para proteger el medio marino contra la contaminación radiactiva procedente de todas las fuentes. Dio también carácter oficial a una labor de diez años efectuada por la AEN para evaluar las normas, directrices, prácticas y procedimientos recomendados para el vertimiento en condiciones de seguridad de desechos radiactivos en el mar.

Durante el último decenio, muchos países han aprovechado el océano como un medio de evacuación, por ejemplo Bélgica, Francia, los Países Bajos, el Reino Unido, la República Federal de Alemania, Suecia y Suiza. Francia, la República Federal de Alemania y Suecia no han efectuado operaciones de vertimiento en el mar desde 1971. La historia de las actividades de vertimientos radiactivos llevadas a cabo por los países vertedores figuran en el Cuadro II, en el que se demuestra que, durante los últimos 10 años, las cantidades vertidas representan una pequeña fracción de la cantidad dada en la definición. Sin embargo, como se dijo antes, las concentraciones por debajo de la especificada en la definición no son necesariamente aceptables para el vertimiento. Las recomendaciones subrayan que todo vertimiento de radiactividad requiere un permiso especial que se funda en un procedimiento de evaluación ambiental y optimación en el que las dosis colectivas de radiaciones resultantes se mantienen lo más bajo que es razonablemente posible conseguir, teniendo en cuenta ciertos factores económicos y sociales.

La AEN publicó en 1974 directrices sobre los contenedores para la evacuación en el mar de los desechos radiactivos. Estas directrices se revisaron en 1978 sobre la base de las últimas informaciones y experiencias recibidas. La Secretaría de la AEN y los representantes

Cuadro 2. Prácticas anteriores de vertimiento de materiales radiactivos en el lugar de vertimiento del atlántico norte

Grupos de radionucleidos	Cantidades totales vertidas a lo largo de un período de 10 años (1967--1978) (Curios)	Cantidad vertida cada año como porcentaje de los límites implicados en la definición
^{226}Ra	10^2	0,1%
Emisores generales alfa	7×10^3	0,7%
Emisores generales beta-gamma	2×10^5	0,2%
Tritio	$2,5 \times 10^5$	0,001%

Se supone que: 1) la tasa media de vertimiento anual equivale a la tasa media de descarga;
2) todos los materiales radiactivos vertidos en el pasado han sido vertidos en el lugar actual.

nacionales estudiaron la experiencia adquirida en las operaciones más recientes de vertimiento en el mar. Observaron que el número de contenedores sospechosos representaba un pequeño porcentaje del número de contenedores vertidos; sin embargo, señalaron los siguientes motivos de preocupación: la presencia de líquidos en algunos de los barriles de desechos, las caídas y los deterioros de los envases (contenedores) de desechos debido a la falta de equipo adecuado para su manipulación, el diseño defectuoso de los accesorios del contenedor, los barriles oxidados o deformados, las tapas mal colocadas o inexistentes, y las insuficientes densidades de los envases de desechos. En algunos casos, se indicó que era dudoso que los contenedores se ajustasen a las directrices de la AEN.

VERTIMIENTO DE MATERIALES NO RADIATIVOS

Contrariamente a los desechos radiactivos que se definen en términos de una concentración de material peligroso en los desechos que se consideran inapropiados para su vertimiento, otros desechos y materiales se definen mediante una definición cualitativa del contaminante. El Convenio estipula que las microcantidades de tales contaminantes, definidas como inferiores al 0,1% de peso, se excluyan de las disposiciones del Convenio.

Actualmente se está estudiando una definición de las cantidades "*de minimis*" de radiactividad con vistas a definir una concentración muy leve que pueda entonces utilizarse para estudiar la posibilidad de conceder un permiso general para el vertimiento en virtud de las disposiciones del Convenio.

Cuando se trata del vertimiento de materiales radiactivos, las recomendaciones del OIEA establecen criterios para la selección de los lugares de vertimiento, vigilancia y evaluación del medio, envasado de los desechos, control operacional de las operaciones de vertimiento, etc. Todavía no se han establecido criterios similares para los materiales no radiactivos ni

se ha adoptado un mecanismo multilateral de consultas y vigilancia. Como resultado, los países que vierten desechos no radiactivos en el océano utilizan prácticas muy diferentes.

Referencias

- [1] Webb, G.A.M. y Morley, F., A model for the evaluation of the deep ocean disposal of radioactive waste. NRPB-R-14, Harwell, Reino Unido (1973).
- [2] Shepherd J.G., A simple method for the dispersion of radioactive wastes dumped on the deep sea bed. Ministry of Agriculture, Food and Fisheries, Reino Unido, Fisheries Research Technical Report No.29 (1976).
- [3] Convenio sobre la Prevención de la Contaminación del Mar por Vertimiento de Desechos y otras Materias, INFCIRC/205, OIEA, 11 de junio de 1974, Viena (asimismo INFCIRC/205/Add.1 e INFCIRC/205/Add.1/Rev.1).