

Las prácticas de gestión de desechos en determinados países europeos

por V.A. Morozov

INTRODUCCION

En el otoño de 1978, el OIEA organizó, en el marco de su asistencia técnica a los países en desarrollo, un Viaje de estudios sobre protección radiológica y gestión de desechos. En este Viaje de estudios, organizado en colaboración con los Gobiernos de Checoslovaquia, Francia, República Democrática Alemana, República Federal de Alemania y República de Hungría, los participantes visitaron todos estos países. El presente artículo solo se ocupa de un aspecto de dicho Viaje de estudios — la gestión de desechos radiactivos — y se basa en las conferencias pronunciadas ante los participantes del mismo en los diversos países y en visitas científicas a centros de investigación y centrales nucleares.

DESECHOS RADIACTIVOS

El desarrollo de la energía nucleoelectrónica depende inevitablemente de la solución de dos problemas: la seguridad de las instalaciones nucleares y la gestión de los desechos radiactivos. Consideremos el segundo de estos problemas.

Los desechos radiactivos contienen elementos radiactivos naturales, que aparecen, por ejemplo, como resultado del tratamiento de los minerales de uranio, y elementos radiactivos artificiales, que se producen durante el funcionamiento de las centrales nucleares, los reactores de investigación y los aceleradores. Para asegurarse de que esos desechos solo tienen efectos insignificantes sobre la población y el medio ambiente en su conjunto deberán adoptarse ciertas medidas encaminadas a aislarlos de la biosfera.

En la práctica de la gestión de desechos radiactivos, existen dos métodos. El primero consiste en la recogida, tratamiento, envasado y almacenamiento o enterramiento de los desechos. El segundo método consiste en una descarga controlada de desechos de baja actividad en el medio ambiente. Se trata de dos métodos completamente diferentes, que se aplican a distintas clases de desechos. Además, puesto que los desechos radiactivos pueden estar en forma sólida, líquida o gaseosa, será necesario aplicar diferentes métodos para su tratamiento. Los desechos se caracterizan también por su radiactividad y su radiotoxicidad. Estos parámetros determinan las condiciones en que es posible el tratamiento y transporte de los desechos (espesor del blindaje, etc.) y el grado necesario de aislamiento del medio.

Según sea la intensidad de su radiactividad, los desechos se dividen, en principio en desechos de baja actividad, de actividad intermedia y de alta actividad, considerándose desechos de la última categoría los que, por lo general, proceden de la reelaboración del combustible nuclear agotado. Las características de estos desechos son su alta radiactividad específica y una considerable producción de calor.

Una vez tratados y envasados en forma apropiada, los desechos se transportan a las instalaciones de almacenamiento en las que pueden ser recuperados, en caso de necesidad, para ser tratados de nuevo o para conducirlos a los lugares de evacuación final donde se supone que permanecerán para siempre. Por supuesto, no existe ningún método que pueda

El Sr. Morozov es funcionario de la Sección de Tratamiento y Evacuación de Desechos de la División de Seguridad Nuclear y Protección del Medio Ambiente del OIEA.

garantizar el absoluto aislamiento de los desechos respecto de la biosfera; lo que sí puede garantizarse es que en las circunstancias menos favorables, la dispersión de los materiales radiactivos desde su lugar de almacenamiento o evacuación tendrá un efecto radiobiológico insignificante, por lo general equivalente a una pequeña fracción solamente del efecto de las radiaciones de fondo naturales de la tierra.

FRANCE

En Francia, la Física nuclear es materia de estudio desde que Becquerel descubrió en 1896 el fenómeno de la radiactividad seguido del descubrimiento de elementos radiactivos y de la radiactividad artificial, gracias a las investigaciones iniciales de Pierre Curie, Marie Sklodovska-Curie, e Irène y Frédéric Joliot-Curie. El programa nucleoelectrico francés se caracteriza por su planificación multifacética y su ejecución pragmática. Se ha programado que entrarán en funcionamiento antes de 1985 un gran número de centrales nucleares que utilizarán reactores de agua ligera y que tendrán una capacidad instalada de unos 40 000 MW(e). Dado que Francia está construyendo reactores rápidos y reelaborando combustibles nucleares, la gestión de los desechos radiactivos abarca evidentemente en ese país una amplia gama de los mismos, desde los desechos de baja actividad a los desechos de alta actividad.

Las principales fuentes de desechos en Francia son las centrales nucleares y las plantas de reelaboración del combustible nuclear. Tomemos como ejemplo la central de Fessenheim: posee una capacidad instalada de 900 MW(e) y utiliza un reactor de agua a presión, el principal tipo de reactor que se utilizará para las futuras centrales nucleares de Francia. Puede preverse que esta central nuclear producirá anualmente, tras el tratamiento y envasado, unos 500 m³ de desechos de baja actividad y de actividad intermedia. Estos desechos se tratan introduciéndolos en hormigón; en el caso de desechos líquidos, y comprimiéndolos en el caso de desechos sólidos. Para el futuro, se está estudiando la posibilidad de incorporarlos en asfalto o en una matriz de plástico resistente al calor. Una vez condicionados, los desechos solidificados se transportan a una instalación central de almacenamiento cercana a la planta de reelaboración de combustibles nucleares de La Hague.

Desde 1969, se han almacenado en esta instalación unos 70 000 m³. No está permitido el almacenamiento de los desechos en el emplazamiento de la central nuclear durante un período prolongado.

En 1980 comenzará en La Hague la reelaboración de combustibles nucleares procedentes de reactores de agua a presión. La capacidad calculada de 1 600 toneladas anuales se alcanzará en 1987. Una tonelada de uranio agotado produce hasta 500 litros de desechos líquidos de alta actividad (con actividades de hasta 10 000 Ci/l). Aunque actualmente se están almacenando los desechos de alta actividad, este almacenamiento supone una considerable inversión de capital para la construcción de tanques y exige cuidadosa vigilancia. Por ello, en Francia se estudió muy a fondo, desde una fecha temprana (hace unos 20 años), el problema de solidificar los desechos líquidos de alta actividad. De todos los métodos posibles, la vitrificación constituye el más desarrollado hasta el momento. Las principales ventajas de este método estriban en que da un producto solidificado con poca capacidad de lixiviación, a la vez que reduce considerablemente el volumen de desechos, y en que puede desarrollarse a una escala industrial. Después de haberse establecido el proceso de vitrificación con borosilicato en el dispositivo Piver, se construyó en Marcoule la planta AVM (Atelier de Vitrification à Marcoule) para la vitrificación de desechos de alta actividad. Esa planta se terminó en febrero de 1977 y, después de un período de ensayo con soluciones inactivas, comenzó en junio de 1978 la operación con soluciones radiactivas. En la planta de vitrificación se utiliza un proceso continuo de calcinación de los desechos líquidos seguida de la mezcla de los desechos calcinados con los aditivos que forman el vidrio. La producción máxima de la planta es de 18 kilogramos de vidrio por hora, con una alimentación de

40 litros de solución de desechos por hora. El vidrio molido se vierte en contenedores de metal de 50 cm de diámetro y un metro de largo.

Estos contenedores se almacenan en la misma instalación, en cuevas especiales con aire refrigerante inyectado.

La planta AVM ha sido diseñada para tratar todos los desechos industriales del centro nuclear de Marcoule, inclusive los desechos anteriormente acumulados.

La planta de vitrificación proyectada en La Hague, La AVH, tiene por objeto la vitrificación de desechos producidos durante la reelaboración del combustible de reactores de agua ligera. Los desechos vitrificados procedentes de este combustible desprenderán mucho más calor, debido al mayor quemado de combustible, y requerirán una refrigeración preliminar en estanques de agua durante cuatro años antes de que puedan ser refrigerados por aire. Puesto que todavía no se ha tomado ninguna decisión concerniente al método de evacuación final de desechos de alta actividad, los desechos se recuperarán, en una fecha posterior, de las instalaciones de almacenamiento para su nuevo transporte al lugar de evacuación.

El método de evacuación más prometedor se considera que es el enterramiento de los desechos de alta actividad en formaciones geológicas estables, en particular en rocas de granito, lo que constituye la opción más aceptable en las circunstancias francesas. Sin embargo, el estudio de esta posibilidad se encuentra todavía en su etapa inicial, ya que se piensa que no existe ninguna necesidad urgente de evacuación geológica hasta una cierta fecha situada entre 1985 y 1990, según el ritmo a que se desarrolle la energía nucleoelectrónica.

REPUBLICA FEDERAL DE ALEMANIA

Como en Francia, en la República Federal de Alemania se llevan a cabo investigaciones con respecto a todas las fases del ciclo del combustible nuclear, desde el enriquecimiento de uranio y la reelaboración de combustibles nucleares hasta los problemas de la evacuación final de desechos en formaciones geológicas profundas. Como características particulares del programa de la República Federal, pueden citarse el desarrollo de un ciclo de combustible de torio y la ejecución práctica de la evacuación en formaciones geológicas.

Hasta hace poco, el principio adoptado en la República Federal era la utilización de un solo lugar para la evacuación centralizada tanto de los desechos procedentes de las centrales nucleares y de los centros de investigaciones nucleares como de los de las aplicaciones de los radioisótopos en la industria, la medicina, etc. Se han utilizado las antiguas minas de sal de Asse como lugar de evacuación. Sin embargo, en otoño de 1978 hubo que cerrar este lugar por haber expirado la autorización concedida, no aceptándose nuevos desechos hasta que se expida una nueva autorización.

Los requisitos principales que, hasta fecha reciente, han estado en vigor para la evacuación de desechos son los siguientes: a) los desechos deben hallarse sólidamente homogeneizados en un material de baja lixiviación; b) los contenedores para transportar los desechos deben limitar la dosis a no más de 200 mrem/h en la superficie del contenedor y a 10 mrem/h a una distancia de 1 m; c) la actividad máxima permisible no debe exceder de 25 Ci para un contenedor que encierre desechos incorporados en hormigón.

Después del cierre de las minas de sal de Asse se hizo necesario organizar al almacenamiento provisional de desechos en los emplazamientos de las centrales nucleares; este período de almacenamiento puede ser bastante largo, es decir, del orden de varios años.

Los desechos radiactivos líquidos constituyen una gran parte de los desechos producidos en las centrales nucleares se tratan utilizando filtración mecánica, evaporación, e intercambio de iones.

Los desechos radiactivos sólidos se comprimen en bidones de acero de 200 litros.

En realidad, en las centrales nucleares solo se utiliza un método de solidificación de desechos, que es la incorporación de los mismos en hormigón. Todavía se encuentran en su etapa de desarrollo otros métodos que pudieran utilizarse en los emplazamientos de las centrales nucleares, como la incorporación en asfalto o la solidificación por medio de plásticos. Su introducción se ha demorado grandemente por el peligro de fuego que supone el proceso de bituminización y el costo comparativamente elevado del plástico.

Existe una tendencia interesante en la práctica del tratamiento de desechos de las centrales nucleares en la República Federal de Alemania. Puesto que no existen reglamentaciones definitivas sobre la evacuación de desechos y sobre las propiedades de los desechos enviados para su evacuación, es imposible, debido a las grandes inversiones de capital que suponen, desarrollar sistemas auxiliares para el tratamiento final de desechos en los emplazamientos de las centrales nucleares. Sin embargo, se han efectuado intensos trabajos de desarrollo sobre los sistemas móviles de solidificación de desechos que pueden transportarse de una central nuclear a otra. El proceso utilizado en estos sistemas consiste generalmente en la incorporación de los desechos en hormigón; solo en un caso se utiliza plástico para la solidificación de desechos de actividad intermedia, como las resinas de intercambios de iones.

Existen planes para construir una gran instalación de reelaboración de combustibles nucleares con una capacidad de 1 400 toneladas de combustibles al año en Gorleben, donde se dan condiciones favorables para la evacuación de desechos en formaciones salinas profundas. En la República Federal se están estudiando diversos procesos para solidificar los desechos de alta actividad. Uno de ellos se desarrolló en Karlsruhe para la solidificación de desechos de alta actividad procedentes del proceso Purex. El sistema utiliza un calcinador de vaporización con un crisol de cerámica. El dispositivo piloto se alimenta con una entrada bastante alta de 30 litros de solución de desechos por hora. Continúan las investigaciones sobre el proceso de vitrificación para soluciones inactivas.

En otro centro nuclear, Jülich, se ha desarrollado el proceso FIPS. Se trata de un proceso adecuado para la vitrificación de desechos procedentes de la reelaboración no solo de combustibles de reactores de agua ligera sino también de combustibles de reactores de altas temperaturas, que contienen torio. En esta instalación piloto se han efectuado ensayos con soluciones radiactivas. Estas dos instalaciones están concebidas para la producción de vidrio de borosilicato.

Un tercer proceso, PAMELA, tiene por objeto la producción de perlas de vidrio fosfatado y su incorporación en una matriz metálica. Este proceso persigue la vitrificación de desechos de alta actividad almacenados en la instalación de reelaboración de combustibles de Mol (Bélgica).

Como se ha indicado ya, en la República Federal de Alemania se acepta el principio de evacuación centralizada de desechos. La satisfactoria evacuación de desechos en las minas de sal de Asse durante más de diez años demuestra la factibilidad de este método. Una nueva posibilidad para las formaciones geológicas profundas es el enterramiento de los desechos en minas de minerales de hierro. Se están llevando a cabo en este país investigaciones sobre la posibilidad de utilizar dichas formaciones.

CHECOSLOVAQUIA

Checoslovaquia no solamente posee una industria de minería del uranio, sino que realiza también investigaciones amplias en las ciencias nucleares fundamentales y aplicadas y llevando a efecto un programa nucleoelectrico en gran escala. En los próximos 30 años, se construirán en Checoslovaquia una serie de centrales nucleares con una capacidad total instalada de 45 000 a 50 000 MW(e).

Los desechos radiactivos de Checoslovaquia pueden dividirse en dos categorías: desechos

procedentes de las centrales nucleares y desechos de las investigaciones sobre radioisótopos en la medicina y otras ramas de la economía nacional.

La gestión de desechos en Checoslovaquia viene influida por los siguientes factores:

- a) la limitada capacidad del medio ambiente para absorber las descargas radiactivas, debido al hecho de que Checoslovaquia es un pequeño país sin costas, con condiciones desfavorables geológicas e hidrológicas y con una alta densidad de población; b) la falta de lugares inhabitados que sean apropiados para la evacuación definitiva de desechos; c) el propuesto empleo de todos los recursos hídricos para el suministro de agua potable o de irrigación; d) una fuerte oposición pública a toda contaminación radiactiva del medio ambiente.

Por ello, todas las actividades del país relacionadas con la gestión de desechos están reglamentadas por decretos del Ministerio de Salud Pública y supervisadas por una serie de oficinas de inspección: la Inspección de la Salud, la Inspección de la Protección Atmosférica y la Inspección de Recursos Hídricos.

Los desechos procedentes de la industria de la minería del uranio se tratan principalmente mediante métodos de intercambio de iones y coprecipitación, a fin de eliminar el uranio y el radio. Las colas se cubren con una capa de tierra en la que se plantan árboles y verdura.

Los desechos líquidos radiactivos procedentes de las centrales nucleares A-1, de 150 MW(e) y V-1, de 440 MW(e), se tratan por filtración, intercambio de iones y evaporación. La práctica actual consiste en el almacenamiento provisional de concentrados, escorias, sedimentos y resinas de intercambio iónico agotadas, en tanques en los emplazamientos de las centrales nucleares.

Por ejemplo, las centrales nucleares V-1 serán equipadas con cinco tanques subterráneos, de una capacidad de 470 m³ cada uno, para el almacenamiento de concentrados líquidos con un contenido salino de hasta 400 g/l. Estos recipientes deben permitir el funcionamiento ininterrumpido de la central nuclear durante cinco a siete años. Las resinas de intercambio iónico agotadas se almacenarán durante 15 años en dos tanques de 400 m³.

Este tipo de desechos se solidificará por cementación en el vacío o por bituminización. El primer proceso aplica un tratamiento consecutivo de presión y vacío a una mezcla de hormigón y desechos. Los bloques obtenidos son muy densos y tienen un bajo contenido de agua. La lixiviación de estos desechos solidificados no excede de 10⁻⁴ g/cm² al día.

El proceso de bituminización supone el empleo de un evaporador de película delgada, que funciona a una temperatura de 150°C, y en el que se cargan los desechos líquidos y una emulsión bituminosa. Tras amplias investigaciones sobre las propiedades del producto final, se ha observado que los desechos con actividades de hasta 10 ci/kg pueden incorporarse en asfalto.

Los desechos sólidos se almacenan en cofres de hormigón y tras su clasificación y reducción de tamaño se compactan en envases metálicos de 200 litros. El quemado de desechos combustibles no se llevará a cabo hasta que se disponga de plantas centrales de tratamiento de desechos en los emplazamientos de las centrales nucleares.

Una de estas plantas se construirá en Jaslowské Bohunice.

Los desechos radiactivos de alta actividad procedentes de centrales nucleares se depositarán en cámaras impermeables de hormigón y se enterrarán a profundidades de hasta 5 metros. De acuerdo con los planes establecidos, en 1980 comenzará la construcción de dos zonas de evacuación, una en Moravia y otra en Eslovaquia.

Los desechos radiactivos procedentes de los centros de investigaciones nucleares, instituciones médicas y empresas industriales, se entierran en las proximidades de Litoměřice, en pozos de minas de piedra caliza que están fuera de uso. Si es necesario, estos desechos se solidifican

en el Instituto de investigaciones nucleares de Řež. Existe también un lugar de evacuación para los desechos procedentes de la industria de la minería del uranio en las antiguas minas de uranio de Jachymov.

HUNGRÍA

En Hungría, los radioisótopos se utilizan ampliamente en la medicina, la industria y la agricultura y acaba de iniciarse en ese país un programa nucleoelectrico. Al desarrollar sistemas para el tratamiento, almacenamiento y evacuación de desechos radiactivos, las autoridades húngaras parten del supuesto de que solamente se producirán desechos de baja actividad y de actividad intermedia. Esto se debe a que no existen planes en el programa de desarrollo nucleoelectrico para la reelaboración del combustible nuclear agotado. La primera central nuclear del país, la PAKS, entrará en funcionamiento a principios del decenio de 1980.

Los desechos radiactivos líquidos y sólidos procedentes de la explotación de las centrales nucleares húngaras se almacenarán provisionalmente en el emplazamiento de la central, depositándose en tanques con concentrados, sedimentos y resinas agotadas, y los desechos líquidos en contenedores apropiados. Se estima que el volumen proyectado de instalaciones de almacenamiento será suficiente para que las centrales nucleares puedan funcionar durante cinco a diez años. Todavía no se ha adoptado ninguna decisión con respecto al tratamiento y evacuación definitivos de los desechos de la central nuclear PAKS. Entre las opciones que se están estudiando para la solidificación de desechos líquidos figuran las siguientes: su incorporación en hormigón, su bituminización o su evaporación mediante un cristizador- evaporador. Los desechos sólidos deberán comprimirse.

El proceso de cristalización- evaporación se basa en la utilización de aire caliente para evaporar los desechos líquidos. En este proceso, la temperatura del líquido no alcanza el punto de ebullición y puede conseguirse un factor elevado de descontaminación del condensado como resultado de un transporte limitado de radiactividad mediante las gotas arrastradas. En los ensayos con modelos se ha conseguido un factor de descontaminación del orden de 10^4 - 10^5 para diversos elementos radiactivos. El tanque en el que se produce la evaporación se utilizó después como contenedor para encerrar los desechos. La importante reducción del volumen de desechos alcanzada disminuye apreciablemente el costo del transporte de desechos.

Hasta el momento, no se ha seleccionado ningún lugar para la evacuación definitiva de los desechos de las centrales nucleares.

Actualmente, Hungría posee una instalación central para la evacuación de desechos procedentes de las aplicaciones médicas e industriales de los radioisótopos, la cual está situada a 50 km de Budapest. En este centro, los sedimentos y concentrados obtenidos después del tratamiento de los desechos líquidos se solidifican incorporándolos en hormigón en los contenedores de la instalación de almacenamiento. Estos contenedores son envases de hormigón que se entierran a profundidades de hasta 6 metros. Además del tratamiento y evacuación de los desechos líquidos, el centro se utiliza también para la evacuación de desechos sólidos, desechos líquidos orgánicos y biológicos y fuentes precintadas de radiaciones de alta actividad.

REPUBLICA DEMOCRATICA ALEMANA

En la República Democrática Alemana, lo mismo que en Checoslovaquia, se está ejecutando sistemáticamente un programa nucleoelectrico. Actualmente funcionan en el país cuatro centrales nucleares con una capacidad total instalada de 1 390 MW(e).

La supervisión de la seguridad nuclear, con inclusión de la referente a gestión de los desechos radiactivos, es de competencia de la Junta de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica,

que es un órgano gubernamental independiente. El programa de gestión de desechos radiactivos se basa en el principio siguiente: almacenamiento provisional de desechos en el lugar en que se producen (centros de investigación nuclear y centrales nucleares) seguido de la evacuación en formaciones geológicas profundas (formaciones salinas).

En la Junta de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica existe un servicio de evacuación de desechos, cuyas funciones comprenden el transporte, tratamiento y evacuación de desechos, cuyas funciones comprenden el transporte, tratamiento y evacuación en minas fuera de uso de los desechos de baja actividad procedentes de los centros de investigaciones nucleares y de las empresas médicas e industriales.

Se está llevando a cabo un programa de investigaciones sobre el desarrollo y ensayo de diseños de contenedores para el transporte de materiales radiactivos de desecho, inclusive los combustibles nucleares agotados.

CONCLUSION

Los ejemplos aquí expuestos no agotan el tema de la gestión de desechos radiactivos, pero sugieren una serie de conclusiones.

El tratamiento y almacenamiento de los desechos de baja actividad y de actividad intermedia no plantean actualmente ningún problema especial. Esto no significa, por supuesto, que la tecnología para el tratamiento de estos desechos no haya de perfeccionarse aún más, pero sí que la utilización en condiciones de seguridad de la energía atómica tiene como límite la capacidad de tratar y evacuar desechos de baja actividad y de actividad intermedia.

Las centrales nucleares, que son las principales fuentes de tales desechos, están equipadas con sistemas que pueden tratar los de acuerdo con las normas de seguridad vigentes. Hasta ahora, el método más difundido ha sido la incorporación de los desechos al hormigón. Sin embargo, continúan las investigaciones sobre la posibilidad de emplear procesos tales como bituminización, quemado, evaporación-cristalización, etc. para el tratamiento de desechos en el emplazamiento mismo de la central nuclear.

Existen motivos para prever que los métodos de tratamiento de desechos que puedan reducir notablemente el volumen de los mismos se utilizarán cada vez más. Esto es cierto tanto para los países en que se practica el almacenamiento de desechos en los emplazamientos de las centrales nucleares durante un largo período de tiempo como para los países en que los desechos se transportan a una instalación central de almacenamiento.

La reelaboración de los combustibles nucleares agotados plantea directamente el problema de los desechos de alta actividad. Actualmente se considera que la vitrificación es el método más prometedor para tratar estos desechos. La evacuación definitiva de los mismos se hará probablemente en dos etapas. Primeramente, el almacenamiento de desechos vitrificados en estructuras especiales en que serán refrigerados durante el período necesario de tiempo, y después la transferencia de los desechos a un lugar de evacuación definitiva, por ejemplo en formaciones geológicas profundas.

Hoy se dispone ya de datos para proyectar tales sistemas. Los experimentos llevados a cabo en los laboratorios nucleares de Chalk River (Canadá) sobre desechos vitrificados enterrados hace 20 años han demostrado que la lixiviación de los radioisótopos a partir del vidrio y el ritmo de su migración a través del suelo son mucho menos importantes de lo previsto. Igualmente, un experimento aún más impresionante, realizado por la naturaleza misma en el Gabón — el llamado fenómeno de Oklo — ha demostrado que prácticamente todos los elementos radiactivos que se formaron mientras funcionó un "reactor" natural han permanecido en su lugar de formación. Todo esto nos da la seguridad de que el problema de la evacuación de desechos de alta actividad será solucionado satisfactoriamente.