

Evacuación de desechos radiactivos: Principios y normas radiológicas

Reseña de los esfuerzos que se realizan a nivel nacional e internacional por elaborar criterios para la evacuación segura del combustible gastado y los desechos de actividad alta

por Dr. J.O. Snihs

Está previsto que los primeros repositorios geológicos en gran escala destinados para la evacuación definitiva del combustible gastado procedente de las centrales nucleares no empiecen a funcionar hasta bien entrado el próximo siglo. Estos repositorios tendrán que tener altos niveles de seguridad para proteger el medio ambiente y al público de los posibles riesgos radiológicos.

Aunque hay diferencias en las políticas nacionales al definir el combustible gastado como producto de desecho o como recurso para el reciclaje del combustible, nacional e internacionalmente se ha estudiado mucho la seguridad del almacenamiento del combustible gastado y de la evacuación de desechos radiactivos. Estos estudios incluyen los criterios elaborados por los países nórdicos en 1989, posteriormente revisados, y publicados en 1993. En el presente artículo se examinan brevemente estos criterios en el contexto de estudios nacionales e internacionales sobre la evacuación de desechos de actividad alta, incluido el combustible gastado.

Principales informes nacionales e internacionales

En 1984 la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE) publicó el informe titulado *Long-Term Radiation Protection Objectives for Radioactive Waste Disposal*, que es uno de los primeros informes internacionales preparados sobre los problemas especiales relacionados con la evacuación de los desechos radiactivos de período largo. Entre las cuestiones que se examinan en este informe están la limitación de las dosis individuales o riesgo, la aplicación de la optimización de la protección y el uso de dosis colectiva para evaluaciones futuras.

En 1985 la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) publicó *Radiation Protection Principles for Disposal of Solid Radioactive Waste* (publicación 46 de la CIPR). En esta publicación se examinan el concepto de limitación de riesgo de una fuente, los sucesos probabilistas y las incertidumbres acerca del futuro. El principio de optimización debe aplicarse, pero éste es sólo uno de los factores que

intervienen en la decisión de una estrategia y en la elección de una alternativa para la gestión y la evacuación de desechos. Se insiste particularmente en las consideraciones éticas al examinar la importancia de los detrimentos futuros.

Ya en 1983, el OIEA publicó un informe consultivo sobre el criterio de la evacuación subterránea de desechos radiactivos (Colección Seguridad Nº 60, al que siguió en 1990, la publicación de los *Principios y criterios técnicos de seguridad para la evacuación subterránea de desechos radiactivos de actividad alta* (Colección Seguridad del OIEA Nº 99), en que se tomaron en cuenta las recomendaciones y los exámenes de las publicaciones de la AEN y la CIPR.

El programa de Normas de seguridad para la gestión de desechos radiactivos (RADWASS) del OIEA se inició en 1991 y su objetivo es el establecimiento de un conjunto de principios y normas coherentes y amplias para la gestión sin riesgos de desechos y la elaboración de las directrices necesarias para su aplicación. Las publicaciones RADWASS pondrán a disposición de los Estados Miembros una amplia serie de documentos internacionalmente acordados que reflejan un consenso internacional. En el marco del programa RADWASS se han publicado los siguientes documentos importantes para la gestión de desechos:

- *Principios para la gestión de desechos radiactivos*, Colección Seguridad Nº 111-F (1996) del OIEA;
- *Establecimiento de un sistema nacional de gestión de desechos radiactivos*, Colección Seguridad Nº 111-S-1 (1995) del OIEA;
- *Selección del emplazamiento de las instalaciones de evacuación geológica*, Colección Seguridad Nº 111-G-4.1 (1994) del OIEA; y
- *Clasificación de desechos radiactivos*, Colección Seguridad Nº 111-G-1.1 (1994) del OIEA.

Actualmente se está revisando el conjunto de publicaciones del programa RADWASS para asegurar que se aplique un enfoque armonizado en toda la Colección Seguridad.

El OIEA también apoya la labor de redacción de una convención internacional sobre seguridad para la gestión de desechos radiactivos. Los progresos alcanzados hasta hoy son estimulantes y si se mantiene el

El Dr. Snihs es Director General interino del Instituto de Protección Radiológica de Suecia en Estocolmo.

mismo ritmo, se podría concluir el proyecto de convención a fines de 1996.

En las nuevas recomendaciones sobre protección radiológica de la CIPR (publicación 60 de la CIPR, 1990) no se tratan de manera específica los problemas de los desechos radiactivos. Sin embargo, en el sistema general de protección radiológica, la optimización de la protección y los límites de dosis ahora se incluye el concepto de exposición potencial. Este concepto alude a la probabilidad de exposición donde no hay certeza de que ésta ocurra. Las exposiciones se deben mantener al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse (ALARA).

Otra importante publicación sobre la formulación de criterios para la evacuación de desechos de actividad alta son las actas de un taller organizado por la AEN en París. El informe *Disposal of High-Level Wastes, Radiation Protection and Safety Criteria*, publicado en 1991 por la AEN en París, contiene una reseña informativa de los enfoques nacionales e internacionales existentes en relación con los distintos problemas y la situación actual de las directrices y criterios. En el informe, la dosis colectiva o los límites de riesgo se utilizan sobre todo con la finalidad de comparar las opciones de diseño de repositorios. Entre otros aspectos se señalan los siguientes: los límites individuales de dosis o los límites de riesgo como indicadores de seguridad están, por lo general, entre 0,1 y 1 mSv anual o entre 10^{-6} y 10^{-5} anuales, respectivamente. La optimización de la protección suele aceptarse como un principio, pero su aplicación tiene que adaptarse a lo que se logra en la práctica. Para las futuras generaciones deberá preverse un nivel de seguridad similar al previsto para las generaciones actuales. Un problema especial que se aborda en el informe es cómo demostrar el cumplimiento de los criterios de seguridad. No hay respuesta sencilla para esta pregunta, que tiene que ver con la comprensión de todo el sistema de evacuación de desechos. Durante todo el proceso se necesitan una alta calidad y una buena práctica técnica, lo que se logra mediante el empleo de modelos validados y datos del emplazamiento específico, la adecuada selección de escenarios y el examen de las incertidumbres.

Informes nacionales. Al nivel nacional, también se ha trabajado mucho. Por ejemplo, en un informe conjunto suizo-sueco de 1990, titulado *Regulatory Guidance for Radioactive Waste Disposal - An Advisory Document* (Informe Técnico SKI 90. Estocolmo), se analiza una serie de principios y de problemas. Se abordan problemas relacionados con incertidumbres durante períodos largos y se insta a validar todos los modelos que se usan para evaluar el comportamiento de supuestos sistemas de repositorios.

Entre otros documentos nacionales figuran las *French Basic Safety Rules*, de 1991; un informe de 1992 preparado por la Junta Nacional de Protección Radiológica (NRPB) del Reino Unido titulado *Radiological Protection Objectives for Land-based Disposal of Solid Radioactive Wastes*, y el reglamento del Organismo para la Protección del Medio Ambiente (EPA) de los Estados Unidos de América, con el título de *Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel*,

High-Level and Transuranic Radioactive Waste, publicado el 20 de diciembre de 1993 en el Registro Federal de los Estados Unidos de América.

En las normas francesas, el ALARA se aplica como uno de los principios de los criterios para un repositorio. Las dosis equivalentes individuales están limitadas a 0,25 mSv anual para la exposición ampliada propia de sucesos seguros o muy probables. La estabilidad de la barrera geológica tiene que quedar demostrada para un período de 10 000 años como mínimo. Para un período más largo, las evaluaciones cuantitativas pueden suplementarse con más evaluaciones cualitativas. El concepto de riesgo se introduce para situaciones de exposiciones potenciales.

En la publicación de la NRPB se recomienda que las futuras poblaciones reciban una protección equivalente a la de las poblaciones de hoy. Además, el riesgo radiológico para un grupo crítico, imputable a una sola instalación de evacuación de desechos, no deberá exceder del límite de riesgo de 1 en 100 000 anuales, y se deberá aplicar el principio ALARA. Sin embargo, si el riesgo individual para un miembro medio del grupo crítico no excede de la cifra objetivo de diseño de 1 en 1 millón anual, entonces se necesitaría aplicar el principio ALARA solo en cuanto al diseño detallado de la instalación y no para comparar diversos emplazamientos u opciones. Los cálculos de emplazamientos específicos relacionados con la biosfera y el comportamiento humano no deberán ir más allá de unos 10 000 años en el futuro. Para períodos más largos, pueden usarse modelos de referencia de la biosfera y del comportamiento humano en combinación con las limitaciones impuestas a las tasas de descargas de radionucleidos de la geosfera.

En el reglamento del EPA de 1993 se estipula que los sistemas de evacuación del combustible nuclear gastado y de los desechos de actividad alta y transuránicos tendrán que diseñarse de manera que 10 000 años después de la evacuación, el sistema no perturbado no deje escapar hacia ningún individuo en el medio accesible un compromiso de dosis efectiva anual de radionucleidos mayor de 15 mrem.

El 19 de enero de 1994 entró en vigor el reglamento del EPA, conforme al cual se extendió el período de protección de 1000 años a 10 000 años. El EPA señaló que los desechos colocados en los sistemas de evacuación se mantendrán radiactivos durante miles de años. Los resultados de los estudios realizados por el EPA demuestran que las liberaciones potenciales de radionucleidos a las que podrían quedar expuestos los individuos no ocurrirían hasta más de 1000 años después de la evacuación debido a las posibilidades de contención del sistema de barreras tecnológicas.

Sin embargo, el reglamento del EPA no es aplicable al Yucca Mountain Site Characterization Project. El EPA elaborará una norma aparte para la evacuación potencial del combustible gastado y de desechos de actividad alta en la montaña Yucca, bajo el asesoramiento de la Academia Nacional de Ciencias, según se indica en un mandato asignado al Congreso en 1992.

Los criterios nórdicos. Paralelamente a estas actividades nacionales e internacionales, los países

nórdicos elaboraron criterios publicados en 1989 y posteriormente revisados en 1993 después de un amplio examen realizado, entre otros, por expertos nacionales e internacionales. (*Disposal of High Level Waste— Consideration of Some Basic Criteria*, Autoridades de Protección Radiológica y Seguridad Nuclear de Dinamarca, Finlandia, Islandia, Noruega y Suecia).

Estos criterios son, en muchos aspectos, muy similares a los contenidos en documentos internacionales y otros documentos nacionales, lo que no sorprende, pues los especialistas nórdicos han participado activamente en trabajos internacionales realizados en este campo. Los criterios nórdicos son:

• **Consideraciones y objetivos generales**

Objetivo general: Los objetivos de la evacuación de desechos de actividad alta serán proteger la salud humana y el medio ambiente y reducir la carga impuesta a las futuras generaciones.

Objetivo 1 - Seguridad a largo plazo: En cualquier momento en el futuro, los riesgos para la sanidad humana y los efectos en el medio ambiente de la evacuación de desechos serán pocos y no mayores que los que serían aceptables en la actualidad. El criterio de aceptabilidad de una opción de evacuación se basará en los impactos radiológicos con independencia de las fronteras nacionales.

Objetivo 2 - Carga impuesta a las futuras generaciones: La carga impuesta a las futuras generaciones deberá reducirse con la selección, en el momento

oportuno, de una variante de evacuación segura que no dependa de controles institucionales a largo plazo ni de medidas correctoras como un factor necesario de la seguridad.

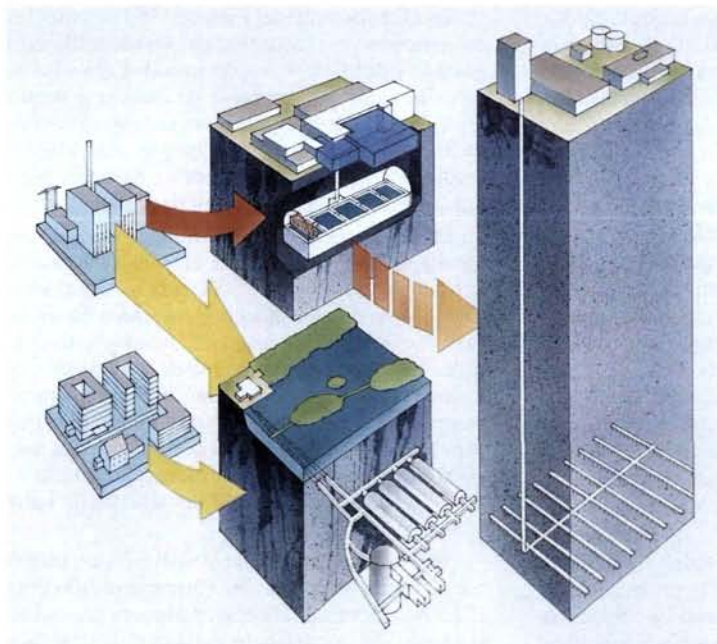
• **Principios de protección radiológica.**

Principio aplicado 1 - Optimización: El sistema de evacuación de desechos se optimizará. Para ello tienen que compararse y equilibrarse las dosis de radiación y los riesgos con muchos otros factores que podrían influir en la solución optimizada.

Principio aplicado 2 - Protección del individuo: Hasta períodos razonablemente previsibles, las dosis de radiación que puedan recibir los individuos de la evolución prevista del sistema de evacuación deberán ser menores de 0,1 mSv anual. Además, se estudiarán, debatirán y presentarán las probabilidades y consecuencias de sucesos disruptivos improbables, en términos cualitativos y, cuando sea posible, se evaluarán en términos cuantitativos en relación con el riesgo de muerte correspondiente a una dosis de 0,1 mSv anual.

Debido a la diversidad de las dietas, los hábitos de vida y las condiciones ambientales, siempre hay un "residuo" de dosis individual o de distribución de riesgos. En ocasiones este residuo puede sobrepasar las limitaciones respectivas aunque el valor medio del grupo crítico permanezca bajo. Ello no es propio de la evacuación de desechos. La aceptación del residuo no contradice las prácticas actuales y concuerda con el principio de protección individual.

Sistema sueco para la evacuación de combustible gastado y desechos radiactivos



En Suecia los desechos radiactivos de las centrales nucleares y otros emplazamientos, como por ejemplo, hospitales, se evacuan en repositorios especialmente construidos. Los desechos de actividad baja e intermedia procedentes de hospitales y centrales nucleares se envían a un repositorio construido a 50 metros de profundidad. El combustible gastado proveniente de las centrales nucleares se guarda actualmente en una instalación de almacenamiento. En los planes se prevé enviarlo a un repositorio que se construirá a 500 metros de profundidad a principios del próximo siglo.

En sentido general, las evaluaciones de dosis que exceden de unos 10 000 años son muy inciertas. La evaluación de dosis en el sentido relativo puede realizarse por períodos más largos tomando grupos críticos hipotéticos. En ese caso, las dosis o los riesgos resultantes deben interpretarse como indicadores de seguridad (medidas relativas de seguridad), no como predicciones de dosis que realmente ocurren.

Principio aplicado 3 - Protección del medio ambiente a largo plazo. Los radionucleidos que escapen de los repositorios no deberán producir cambios significativos en el medio radiactivo. Ello entraña que las entradas del radionucleido evacuado en la biosfera, promediadas entre período largos, serán bajas en comparación con las respectivas entradas de emisores alfa naturales. La afluencia de actividad debe promediarse durante períodos largos, o sea, 10^4 años o más, ya que es imposible determinar con precisión cuándo ocurren las liberaciones ni cuándo alcanzan sus valores más altos.

La limitación de las afluencias de actividad deberá ser tal que las dosis individuales máximas resultantes no excedan del límite de dosis e incluso, en los casos más extremos, debe estar muy por debajo del nivel de los efectos deterministas sobre la salud; las concentraciones de actividad resultantes en los receptores primarios en el emplazamiento de evacuación están dentro del margen de las concentraciones típicas de emisoras alfa naturales de período largo en medios similares, la afluencia de actividad procedente de todos los desechos que se han de evacuar globalmente es baja en comparación con la afluencia respectiva de emisores alfa naturales de período largo.

Los cálculos indican que la limitación adecuada estaría probablemente dentro de los márgenes siguientes: entre 10 y 100 kBq/anales en el caso de los emisores alfa de período largo; y entre 100 y 1000 kBq/anales en el caso de los demás nucleidos de período largo por cantidad de desechos, lo que se produce cuando una tonelada de uranio natural se convierte en combustible nuclear y después se utiliza en un reactor.

● **Principios de garantía**

Principio de garantía 1 - Evaluaciones de la seguridad: Se deberá demostrar que el sistema global de evacuación cumple los criterios de protección radiológica mediante evaluaciones de la seguridad que se basen en criterios cualitativos y en resultados cuantitativos de modelos cuya validez esté comprobada en la medida de lo posible.

Principio de garantía 2 - Garantía de calidad: Deberá establecerse un programa de garantía de calidad para los componentes del sistema de evacuación y para todas las actividades desarrolladas desde la confirmación del emplazamiento pasando por la construcción y la explotación, hasta la clausura de la instalación de evacuación para asegurar el cumplimiento de las bases de diseño y los reglamentos pertinentes.

Principio de garantía 3 - Principio multibarrera: La seguridad a largo plazo de la evacuación de desechos deberá basarse en barreras múltiples pasivas para que las deficiencias en una de ellas no perjudique sustancialmente el comportamiento general del sistema de evacuación y los cambios geológicos ob-

jetivos puedan lesionar sólo parcialmente el sistema de barreras.

Además, los criterios nórdicos contienen recomendaciones técnicas y geológicas sobre la geología del emplazamiento, el diseño del repositorio, el rellenado y la clausura y el embalaje de los desechos.

Trabajos en marcha y retos

Por conducto del Grupo de Trabajo del OIEA sobre principios y criterios de evacuación de desechos radiactivos, se prosiguen las labores sobre la elaboración de criterios en el plano internacional. Los expertos del grupo están abordando problemas relativos a la dosis comparada con el riesgo, la vigilancia post-clausura, los indicadores de seguridad de diferentes períodos, la aplicabilidad de la optimización, la posibilidad de recuperación y las salvaguardias en el contexto de la evacuación de desechos.

Un aspecto interesante es el período en que es lógico que se tengan en cuenta las evaluaciones de las consecuencias ambientales de un repositorio de desechos de actividad alta o de combustible gastado. Algunos expertos plantean que la seguridad de las próximas generaciones debería ser lo más importante. Otros consideran que todas las generaciones futuras deben recibir la misma protección. En mi opinión, cada generación tiene el derecho de controlar por sí misma la seguridad o de que las anteriores generaciones le garanticen la seguridad del repositorio. Para demostrar la seguridad radiológica de un repositorio durante largos períodos, pueden utilizarse diversos instrumentos y modelos. El primer informe del Grupo de Trabajo del OIEA sobre principios y criterios de evacuación de desechos radiactivos fue publicado en 1994 con el título de *Safety Indicators in Different Time Frames for the Safety Assessment of Underground Radioactive Waste Repositories* (IAEA TEC-DOC-767).

En Suecia se ejecuta el programa de evacuación de combustible gastado. La Compañía Sueca de Combustible Nuclear y Gestión de Desechos (SKB) ha realizado amplias investigaciones que incluyen estudios de la idoneidad de emplazamientos potenciales e investigaciones planificadas geológicas, hidrológicas y de otro tipo en un laboratorio construido a 500 metros de profundidad. Entre los problemas restantes cabe señalar los criterios y métodos de selección de emplazamientos apropiados y de planificación de todos los análisis de seguridad radiológica que deben realizarse. Otra preocupación es cómo hacer llegar la información al personal directivo local y a los ciudadanos para que puedan usarla al decidir la aceptabilidad de los planes de repositorios propuestos. En materia de reglamentación, se preparan para su publicación, los requisitos y reglamentos aplicados sobre la base, entre otros, de los criterios nórdicos. También se publicarán directrices sobre cómo evaluar adecuadamente las consecuencias ambientales.

En Suecia se prestará constante atención a la solución de los problemas a medida que el país avance en sus planes de comenzar a construir, alrededor del año 2010, su repositorio definitivo de desechos de actividad alta y de combustible gastado para ponerlo en funcionamiento diez años después.