

CUESTIONES DE SEGURIDAD EN LA DISPOSICION FINAL DE DESECHOS RADIOACTIVOS SOLIDOS

EVALUACION DE ENFOQUES

POR KEN BRAGG Y FERRUCCIO GERA

La gestión segura de los desechos radiactivos, procedentes de todas las etapas del ciclo del combustible nuclear, es un importante aspecto técnico, económico y social. Además, es importante ocuparse del asunto de los desechos generados por el uso de materiales nucleares en la medicina, las investigaciones y la industria. En algunos países el tema de cómo acometer la gestión de esos desechos ha sido polémico y podría influir en el futuro empleo de esas tecnologías. El presente artículo trata de la disposición final de los desechos sólidos, prestando atención especial a las cuestiones de seguridad.

La diferencia fundamental existente entre la disposición final y otras operaciones de la gestión de desechos, como el almacenamiento o el acondicionamiento, estriba en que la disposición final está destinada a ofrecer una solución permanente y definitiva para los desechos, a la vez que protege a las personas y al medio ambiente contra cualquier daño. No hay intención de recuperar los desechos después de su disposición final, pero en el caso de los desechos sólidos colocados en una instalación para su disposición final, usualmente es posible hacerlo, si fuese necesario, en el futuro.

En los últimos decenios, se han propuesto varias opciones para la disposición final de los desechos radiactivos sólidos, entre ellas, la disposición final cerca de la superficie; la disposición final geológica en profundidad; y la disposición final en el lecho o debajo del sublecho marino.

El Convenio de Londres, concertado en 1972, prohíbe actualmente la disposición final de desechos radiactivos sólidos en el mar. Por tanto, ahora sólo existen dos opciones generales para la disposición final.

Una decisión fundamental que es preciso tomar cuanto antes en relación con la gestión de desechos, es qué tipos de desechos son apropiados para la disposición final en las diferentes clases de repositorios previstos en los planes nacionales sobre el tema. Lógicamente, esto debe dar lugar a la separación de los desechos en diferentes categorías sobre la base de los métodos de disposición final previstos.

Para la mayoría de los tipos de desechos, la característica distintiva es la longevidad de sus componentes radiactivos. De ahí que la disposición final de los desechos de período largo, cuya desintegración puede requerir de decenas de miles a cientos de miles de años para llegar a niveles prácticamente inocuos, deberá realizarse en repositorios geológicos, mientras los desechos de período corto pueden ser colocados en instalaciones para disposición final cerca de la superficie.

Independientemente de la longevidad de la radiactividad de los desechos, los repositorios se diseñan para que funcionen sobre la base de la combinación de los principios de aislamiento y contención. La contención supone la colocación de diversas barreras (forma y embalaje de los desechos, componentes tecnológicos, medios naturales, etc.) que se espera contengan los desechos durante un

período inicial. Como resultado de su degradación progresiva, puede producirse una lenta liberación y las aguas subterráneas pueden transportar la parte restante del inventario radiactivo inicialmente contenido en los desechos. Esto es lo que generalmente se considera que representa la evolución normal del sistema de disposición final. Para proceder a la puesta en marcha de una instalación de disposición final, también es preciso conocer el comportamiento de los componentes del sistema, y cómo las futuras variaciones podrían repercutir en el comportamiento de éstos. Este conocimiento se adquiere con las evaluaciones de la seguridad que deben inspirar suficiente confianza en que ahora y en el futuro se cumplirán las normas de seguridad para el sistema propuesto. La evaluación de la seguridad para la disposición final de desechos radiactivos es un proceso iterativo, que es preciso llevarlo a cabo con diferentes niveles de detalle en las etapas críticas del procedimiento de autorización. (Véase la figura de la página 56.)

Una práctica generalmente aceptada para las evaluaciones es la agrupación por pares de categorías de desechos junto con las opciones de disposición final. (Véase el cuadro de la página 57.) Se incluyen los escenarios genéricos de intrusión humana que se consideran pertinentes para los diferentes tipos de instalaciones

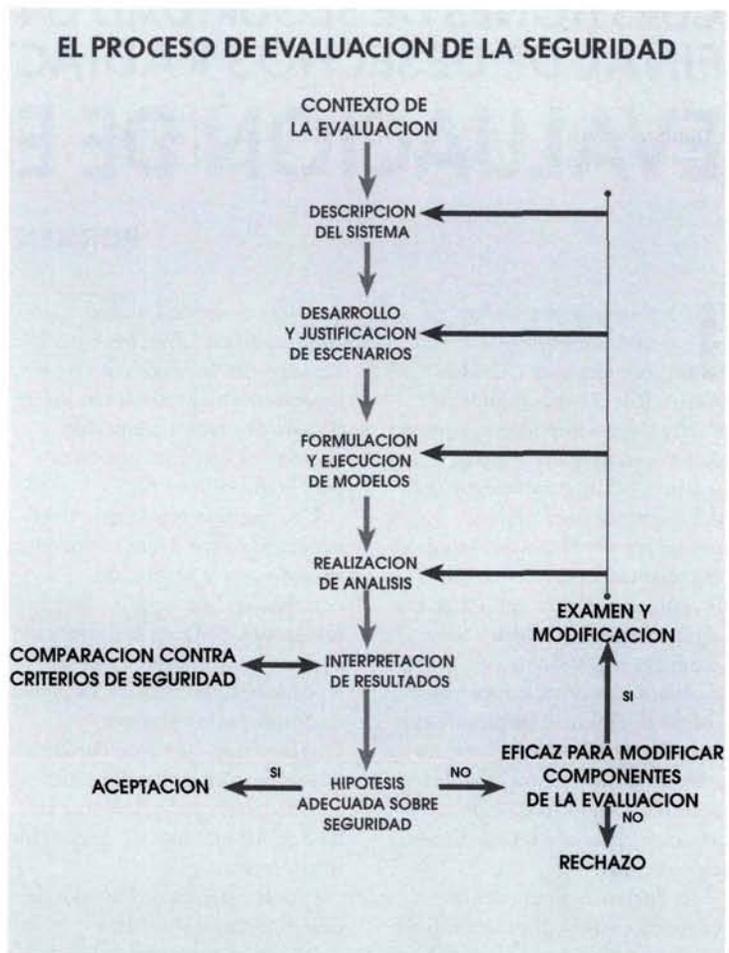
El Sr. Bragg y el Sr. Gera son funcionarios de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos, del OIEA.

destinadas a la disposición final, que se examinan con más detalle en las siguientes secciones.

DISPOSICION FINAL CERCA DE LA SUPERFICIE

La disposición final cerca de la superficie es una opción utilizada en el caso de los desechos radiactivos que contienen radionucleidos de período corto en cantidades que se desintegrarían hasta llegar a niveles radiológicamente insignificantes en unos cuantos decenios o siglos. En los repositorios cerca de la superficie también puede realizarse la disposición final de concentraciones aceptablemente bajas de radionucleidos de período largo. Existen dos tipos principales de instalaciones: a) instalaciones someras compuestas por unidades para disposición final ubicadas encima (montículos de tierra, etc.) o debajo (trincheras, fosos, etc.) de la superficie primaria del terreno; b) instalaciones donde se colocan los desechos a un poco más de profundidad en cavidades rocosas o pozos de sondeos. En el primer caso, la cubierta de los desechos suele tener unos cuantos metros de espesor, mientras en el segundo caso la capa de roca que cubre los desechos puede tener algunas decenas de metros.

Una de las características especiales de la disposición final cerca de la superficie es el requisito de asegurar que durante un tiempo determinado se ejerza control institucional sobre el emplazamiento del repositorio. El fundamento de este requisito es que los controles institucionales protegerán los desechos contra la intrusión humana y otros procesos que podrían provocar la pérdida de la integridad de las barreras de contención. En las evaluaciones de la seguridad de esas instalaciones se examinan comúnmente diversos escenarios, incluida la intrusión humana debida a la construcción de viviendas, la agricultura, la perforación de pozos de agua para



el consumo, así como la construcción de caminos y de estructuras comerciales. Cuando los resultados de las evaluaciones de la seguridad indiquen que los diversos escenarios tendrían consecuencias radiológicas por encima de los límites de dosis y de riesgo normales, se requerirá el control institucional. Por razones de seguridad, este control institucional sólo terminará cuando las consecuencias previstas de los escenarios --las cuales se intentan evitar con el control institucional-- satisfagan las normas de seguridad.

A este respecto, es preciso adoptar una decisión clave en cuanto a cuál es la duración razonable del control institucional, que también es uno de los elementos decisivos para determinar los criterios de aceptación de los desechos para

el repositorio. Existe el consenso internacional, no bien definido, de que tal vez sea práctico establecer períodos de unos cientos de años. En algunos casos parecería que las decisiones de regulación adoptadas hasta la fecha entrañan la necesidad de ejercer controles institucionales por períodos mucho más largos. Ello crea problemas potenciales respecto a la credibilidad de un compromiso sin plazo definido y a la justificación ética de una carga a largo plazo de esa clase para las futuras generaciones.

Como en la mayoría de los escenarios de intrusión, con excepción de la perforación de pozos, sólo se penetra algunos metros bajo la superficie, el aislamiento a mayor profundidad podría tener la ventaja de que los requisitos del control institucional sean menos exigentes. Obviamente, ello

**OPCIONES DE DISPOSICION FINAL DE DIFERENTES TIPOS DE DESECHOS
Y ESCENARIOS DE REFERENCIA SOBRE INTRUSION HUMANA**

Opción de disposición final	Tipo de desecho	Escenarios de intrusión	Notas
Disposición final geológica; en rocas hospedantes estables, de poca permeabilidad, usualmente a una profundidad mayor que 200 m como mínimo.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Desechos de actividad alta. ■ Combustible gastado (si se declara desecho). ■ Otros desechos de período largo (los materiales radiactivos naturales (NORM) suelen excluirse por razones prácticas). 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perforación de bultos de desechos. ■ Perforación de los límites de los repositorios (no a través de los desechos). ■ Perforación de la zona de difusión de agua contaminada. ■ Extracción de mineral de un repositorio. 	Muy poca probabilidad de intrusión. Debe minimizarse seleccionando el emplazamiento y calcularse sobre la base de factores específicos de cada emplazamiento.
Cerca de la superficie; repositorio ubicado en cavidades rocosas.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Desechos de período corto y actividad baja e intermedia (DABI) ■ DABI que exceden los criterios de aceptación para disposición final somera. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perforación de bultos de desechos. ■ Perforación de la zona de difusión de agua contaminada. ■ Extracción de mineral de un repositorio. 	La perforación cerca del repositorio puede formar parte de un escenario de evolución normal.
Instalaciones de mayor contención/pozos de sondeo.	<ul style="list-style-type: none"> ■ Fuentes radiactivas en desuso. ■ DABI que exceden los criterios de aceptación para disposición final somera. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Perforación de bultos de desechos o perforación en sus proximidades. ■ Escenario residencial. 	Probabilidad de intrusión relativamente baja. Debe determinarse sobre la base de factores específicos de cada emplazamiento.
Cerca de la superficie; repositorios someros.	<ul style="list-style-type: none"> ■ DABI de período corto. 	<ul style="list-style-type: none"> ■ Escenario de construcción. ■ Escenario residencial. ■ Combinación de los escenarios anteriores. 	Cuando dejen de aplicarse los controles institucionales, la probabilidad de intrusión es alta.
Cerca de la superficie; para grandes volúmenes de materiales de período largo y actividad	<ul style="list-style-type: none"> ■ Desechos de extracción y tratamiento de uranio y torio. ■ Otros NORM. 	Básicamente los mismos escenarios que para otras actividades de disposición final, cerca de la superficie, somera.	Igual que en el caso anterior. Por la longevidad de los desechos, la probabilidad de posible intrusión es la unidad.

tendrá que confirmarse en cada uno de los casos mediante la evaluación de la seguridad.

DISPOSICION FINAL GEOLOGICA

En el caso de los desechos de período largo que contienen radionucleidos artificiales --definidos en el proyecto de Glosario de Seguridad del OIEA como los desechos radiactivos que contienen importantes niveles de radionucleidos con períodos de semidesintegración mayores de 30 años-- la disposición final geológica en una instalación ubicada en una roca hospedante adecuada, a una profundidad de no menos de algunos cientos de metros, es la única solución viable. Ejemplos de esos desechos son el combustible gastado y los desechos de actividad alta procedentes del reprocesamiento

del combustible. Estos desechos --que contienen, por lo general, un 99 por ciento de la radiactividad total generada en el ciclo del combustible nuclear--, son productores de calor y su radiactividad es intensa. Otros tipos de desechos de actividad baja e intermedia también pueden contener niveles de radionucleidos de período largo demasiado elevados para su disposición final cerca de la superficie. En realidad, varios Estados Miembros han decidido resolver el problema de los desechos radiactivos de período largo y de actividad baja e intermedia, colocándolos en los mismos repositorios geológicos que los utilizados para el combustible gastado y los desechos de actividad alta. Otra solución escogida en algunos casos es la disposición final de, al menos, parte de esta clase de

desechos a unas cuantas decenas de metros de profundidad bajo la superficie.

Los repositorios geológicos suelen incluir diversas barreras artificiales sumamente fiables, además de un medio geológico profundo. Los radionucleidos tendrían que recorrer largas distancias para llegar al medio accesible, de ahí que se estime que no habrá consecuencias radiológicas durante muchos miles de años. El período que debe analizarse en la evaluación de la seguridad y el largo tiempo que debe transcurrir antes de calcular que ocurran las consecuencias radiológicas dan lugar a incertidumbre en los resultados previstos. Ello puede crear problemas al presentar las hipótesis de seguridad, tanto a los expertos como a los miembros legos del público. Muchas personas estiman

que las dosis o las estimaciones de los riesgos para periodos futuros muy lejanos no son creíbles, ya que la situación de la biosfera y los hábitos de las poblaciones humanas para ese entonces son imposibles de predecir. Ello las lleva a poner en tela de juicio las hipótesis de seguridad en su conjunto. Para vencer, al menos parcialmente, esta dificultad de comunicación, se analizan varios enfoques: el uso de biosferas estándar o estilizadas, el empleo de otros indicadores de seguridad basados en los flujos y las concentraciones de radionucleidos naturales, así como la investigación de análogos naturales que permitan apoyar las hipótesis de modelos utilizadas en las evaluaciones de la seguridad. No se espera que esos enfoques sustituyan los argumentos que suelen aducirse para demostrar que el sistema de disposición final puede garantizar de manera razonable una seguridad adecuada. Más bien estos argumentos adicionales parecen útiles, porque permiten basar una hipótesis de seguridad en múltiples fundamentos, lo que de por sí se considera positivo, ya que una hipótesis de seguridad de esa clase podría resultar más convincente para distintos sectores de la sociedad.

DESECHOS DE PERIODO LARGO Y MATERIALES RADIATIVOS NATURALES (NORM)

Existe una clase específica de desechos radiactivos de gran volumen que sólo contienen materiales radiactivos naturales de período largo, aunque de actividad específica relativamente baja. La mayor cantidad de estos desechos se origina en el tratamiento de los minerales de uranio para obtener el combustible que se emplea en la producción de energía nuclear. También existen grandes volúmenes de otros desechos con características similares, que se generan en otras actividades industriales como, por ejemplo, en

extracción de minerales de fosfato para producir fertilizantes o de hidrocarburos. Estos desechos se denominan desechos NORM (materiales radiactivos naturales). Por lo general, se cree que estos desechos no están en el sector nuclear y, por ende, no son controlados por los mismos órganos reguladores que se ocupan de otros desechos radiactivos, mientras que las colas de la extracción y el tratamiento del uranio se regulan como un tipo de desecho radiactivo en la mayoría de los países. Ello motiva que clases similares de desechos estén siendo reguladas en formas muy distintas.

El período largo de los radionucleidos contenidos en las colas de la extracción y el tratamiento y en otros desechos NORM parecería indicar la necesidad de un gran nivel de aislamiento. Sin embargo, en algunos países existen cientos de millones de toneladas de esos desechos, y la disposición final de todos ellos en los repositorios geológicos no es factible. Cuando eso no puede hacerse, los desechos se colocan en diques convencionales para colas procedentes de la extracción, utilizando sistemas de contención bien diseñados. Las características técnicas del sistema de contención aseguran que las liberaciones y las dosis normales que se generen satisfagan los criterios de dosis y de riesgo convencionales. Sin embargo, no puede esperarse que las barreras de contención mantengan su comportamiento inicial durante el período en que los desechos son peligrosos (cientos de miles de años). Además, existe el problema de las dosis inaceptables que se originarían debido a la intrusión. Como ya se analizó, los controles institucionales pueden disponer el mantenimiento de las barreras de contención y evitar las intrusiones mientras duren las barreras, aunque no probablemente durante el período que requeriría, en

última instancia, la longevidad del peligro radiológico.

NORMAS DE SEGURIDAD DE LOS DESECHOS

Durante los últimos años, el OIEA ha sido consciente de la necesidad de determinar y, a la larga, armonizar los principios y criterios fundamentales que deberían aplicarse a la disposición final de los diversos tipos de desechos radiactivos. Esto no es tan fácil como podría parecer a primera vista. En ello intervienen marcos cronológicos muy variables, desde unas cuantas decenas de años hasta incluso cientos de miles de años. Para la mayoría de las personas es muy difícil comprender el significado de los marcos cronológicos más allá de unas cuantas generaciones. También es difícil hacer estimaciones del comportamiento a largo plazo de los componentes artificiales y naturales del sistema de disposición final que resulten convincentes para amplios sectores de la sociedad. Todavía más complicado es tratar de determinar el comportamiento de las personas y la sociedad a lo largo de esos períodos.

Sin embargo, algunos de los criterios propuestos obligan a hacer estimaciones de ambos criterios (por ejemplo, un criterio de riesgo exige el cálculo tanto de la probabilidad de algún suceso futuro como de sus consecuencias). El asunto de la incertidumbre está relacionado con esos marcos cronológicos. Hasta aplicando los más avanzados conocimientos que actualmente se tienen sobre cómo se comportan los componentes técnicos, geológicos y biológicos del sistema, no es extraño que existan incertidumbres de varios órdenes de magnitud en los resultados finales de la evaluación del comportamiento. Además, en determinado momento del proceso de evaluación, no es extraño que los analistas lleguen

SITUACION DE LOS REQUISITOS Y GUIAS DE SEGURIDAD DEL OIEA SOBRE DISPOSICION FINAL DE DESECHOS RADIACTIVOS

El OIEA ha publicado varios requisitos y guías de seguridad sobre diferentes tipos de desechos radiactivos y de opciones de disposición final.

■ **Disposición final cerca de la superficie:** El documento titulado *Near Surface Disposal of Radioactive Waste* fue publicado en 1999 como Requisito de seguridad. Se han publicado dos Guías de seguridad, una en 1994, *Siting of Near Surface Disposal Facilities*, y otra en 1999, *Safety Assessment for Near Surface Disposal of Radioactive Waste*.

■ **Colas de la extracción y el tratamiento del uranio y el torio; otros desechos que contienen materiales radiactivos naturales (NORM):** La preparación de una Guía de seguridad, *Management of Radioactive Waste from Mining & Milling of Uranium/Thorium Ores*, está prevista para el año 2001.

■ **Disposición final geológica:** Un documento, *Geological Disposal of Radioactive Waste*, está en preparación para ser publicado como Requisito de seguridad. También está en preparación otro documento, *Safety Case for Geological Disposal*, que se publicará como Guía de seguridad. En 1994 fue publicada una Guía de seguridad: *Siting of Geological Disposal Facilities*

a la conclusión de que no es razonablemente posible seguir reduciendo las incertidumbres. Ello significa que los reguladores y otras autoridades, tal vez tengan que tomar decisiones ante incertidumbres mucho mayores que a las que puedan estar acostumbrados.

Otro elemento que ha surgido en el pasado es que las normas y los requisitos relacionados con la disposición final de los distintos tipos de desechos, casi siempre se han considerado aisladamente, lo que puede dar lugar a incongruencias en la forma en que se juzga cada tipo. Esto es desventajoso desde el punto de vista puramente técnico, pero lo es aún más desde el punto de vista de la percepción del público.

Para abordar esta cuestión, el OIEA trabaja en la creación de un marco común que permita determinar la admisibilidad de instalaciones concebidas para la disposición final de los diversos tipos de desechos radiactivos. Todos los enfoques requieren, como mínimo, la aplicación de buenas prácticas técnicas y la reducción de las dosis de conformidad con el principio de

optimización de la protección radiológica. Ahora bien, debe tenerse en cuenta la realidad práctica de satisfacer los principios y criterios finalmente establecidos. Ello constituye un problema cuando se considera la diversidad de volúmenes de desechos, de actividades y de períodos de desintegración. A pesar de esos problemas, se hacen progresos y se espera disponer en breve de un marco común, lo que, a su vez, probablemente se reflejará en la unificación de requisitos y guías de seguridad en los años venideros.

Un aspecto clave para avanzar en el establecimiento de más repositorios es el nivel de confianza dentro de los diversos sectores de la sociedad de la mayoría de los países. Aunque los especialistas que trabajan en la esfera siguen teniendo confianza en las evaluaciones de la seguridad antes mencionadas, está claro que no bastan para inspirar confianza entre el público en su conjunto. El OIEA es consciente de las diferencias existentes entre los interesados directos y analiza las formas de acortarlas, incorporando a individuos de las más diversas procedencias a los futuros

programas de trabajo. Además de los trabajos ya mencionados en relación con los múltiples enfoques para elaborar hipótesis sobre la seguridad de las instalaciones para la disposición final, el Organismo también ha confeccionado un documento sobre la adopción de decisiones regulativas ante las grandes incertidumbres relacionadas con las evaluaciones del comportamiento y la seguridad durante períodos muy largos.

En cuanto a la elaboración de normas de seguridad actualizadas, el OIEA ha venido formulando una amplia variedad de requisitos y guías de seguridad en virtud del programa RADWASS.

(Véase el artículo de la página 30.) En este programa existen documentos específicos relativos a la disposición final de desechos radiactivos. (Véase el recuadro de esta página.)

Puede observarse que desde las primeras etapas se puso énfasis en la elaboración de documentos relativos a la disposición final cerca de la superficie, en concordancia con los deseos de los Estados Miembros. Muchos más países requieren instalaciones de disposición final cerca de la superficie para la gestión de los desechos radiactivos procedentes de hospitales y de la industria que para los provenientes de las minas, y el tratamiento del uranio o de las centrales nucleares. Sin embargo, la preparación de un documento de orientación sobre los desechos procedentes de la minería y tratamiento del uranio está muy adelantada y se está emprendiendo la elaboración de requisitos y de una guía de seguridad sobre disposición final geológica.

Por tanto, se prevé que en los próximos años se disponga de una serie completa de requisitos y guías de seguridad actualizados, así como de algunos documentos técnicos complementarios que abarcarán todos los aspectos de la disposición final de desechos radiactivos. □