

## Interfaz entre las salvaguardias nucleares y la evacuación de desechos radiactivos: Nuevos problemas

*Expertos examinan requisitos y políticas para la aplicación de salvaguardias en repositorios geológicos de desechos y emplazamientos afines*

por Gordon  
Linsley y  
Abdul Fattah

**A**l examinar la aplicación de medidas de salvaguardias a los desechos radiactivos, en particular en la fase de evacuación, surgen varios interrogantes.

La principal preocupación desde el punto de vista de la gestión de desechos es que las salvaguardias no perturben las disposiciones adoptadas para garantizar la seguridad a largo plazo de los desechos radiactivos contenidos en un repositorio geológico, incluido el combustible gastado. El requisito de salvaguardar determinados materiales nucleares tiene que cumplirse durante todo el ciclo del combustible nuclear, hasta la etapa en que los materiales puedan considerarse desechos desde el punto de vista económico. En el caso de materiales que se consideran que todavía representan un objetivo potencial de desviación con fines no declarados y no pacíficos, se deberán continuar aplicando las salvaguardias. En estas circunstancias, la necesidad de mantener las salvaguardias puede entrar en contradicción con los planes destinados a asegurar que la gestión y evacuación de los desechos tengan lugar en condiciones de seguridad a largo plazo.

En una reunión del subgrupo permanente del Comité Asesor Internacional sobre Gestión de Desechos Radiactivos (INWAC) sobre "Principios y criterios para la evacuación de desechos radiac-

tivos", celebrada en 1992, se debatieron cuestiones relacionadas con la interfaz entre las salvaguardias nucleares y la gestión de desechos radiactivos. Los debates sostenidos en esa reunión indicaron que la comunidad encargada de la gestión de desechos radiactivos no comprendía bien todas las consecuencias de la necesidad de aplicar salvaguardias nucleares. El subgrupo pidió que se elaborara un documento de trabajo en que se examinara la situación actual de las salvaguardias respecto de los desechos radiactivos, incluido el combustible gastado, desde la perspectiva de la gestión de desechos radiactivos. El presente artículo se basa en ese documento de trabajo\*, que debería considerarse un aporte al diálogo entre las comunidades de gestión de desechos radiactivos y de salvaguardias nucleares.

### **Política de salvaguardias en relación con los desechos radiactivos y el combustible gastado**

En los últimos años, el Departamento de Salvaguardias del OIEA ha trabajado en la definición de una política de salvaguardias para los desechos radiactivos y el combustible gastado. Una consideración fundamental en relación con los desechos radiactivos y el combustible gastado es la de si se pueden satisfacer las condiciones para la terminación de la aplicación de salvaguardias o si éstas deben continuarse aplicando indefinidamente. En los documentos INFCIRC/66/Rev. 2 e INFCIRC/153 del Organismo se declara que podía cesar la aplicación de salvaguardias cuando el Organismo determine que los materiales se han consumido o diluido de modo

El Sr. Linsley es funcionario de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y Gestión de Desechos del Departamento de Energía y Seguridad Nucleares del OIEA, y el Sr. Fattah es funcionario de la División de Conceptos y Planificación del Departamento de Salvaguardias del OIEA. El artículo se basa en un documento titulado: "The Interface Between Nuclear Safeguards and Radioactive Waste Disposal" presentado en el Simposio Internacional del OIEA sobre Salvaguardias, celebrado en marzo de 1994. Pueden solicitarse referencias completas a los autores.

\* Los participantes en el grupo de trabajo fueron D. Gentsch, de Alemania; F. Gera, de Italia; S. Wingefors, de Suecia; y G. Linsley y A. Fattah del OIEA.

tal que no pueden ya utilizarse para ninguna actividad nuclear, o que son prácticamente irre recuperables. (Se indica que algunas autoridades regionales de salvaguardias, como la Euratom, no admiten en ninguna circunstancia la terminación de la aplicación de las salvaguardias.) Se ha sugerido que convendría definir mejor los criterios técnicos basados en los atributos "consumidos", "diluidos" o "prácticamente irre recuperables" aplicados a los materiales procedentes del ciclo del combustible nuclear.

En 1988, se convocó un grupo asesor para que examinara el tema de las salvaguardias en relación con la evacuación definitiva del material nuclear contenido en los desechos y en el combustible gastado. El grupo recomendó que el OIEA emprendiera, en consulta con los Estados Miembros, la definición de criterios específicos para la terminación de la aplicación de salvaguardias a desechos distintos del combustible gastado. Los criterios para determinar la condición de "prácticamente irre recuperable" deben incluir el tipo de material de desecho, la composición del material nuclear, la forma química y física y la calidad de los desechos (por ejemplo, la presencia o ausencia de productos de fisión). Deben considerarse asimismo la cantidad total, los parámetros técnicos específicos de la instalación y el método previsto de evacuación final.

En cuanto al combustible gastado, el grupo concluyó que no cumple los requisitos para ser considerado prácticamente irre recuperable en ningún momento anterior o posterior a su emplazamiento en una formación geológica conocida comúnmente como "repositorio permanente", y que en el caso del combustible gastado no debería cesar la aplicación de salvaguardias. Después de esa reunión el Departamento de Salvaguardias ha continuado trabajando en la definición de criterios para la terminación de la aplicación de salvaguardias a los desechos, y en la formulación de métodos para la aplicación de salvaguardias al combustible gastado evacuado en repositorios geológicos.

### **Principios de la gestión de desechos radiactivos**

El objetivo principal de la gestión de desechos radiactivos es diseñar sistemas de manipulación, tratamiento y evacuación de esos desechos que garanticen la protección presente y futura de los seres humanos. La preocupación por el futuro obedece a la presencia de componentes radiactivos de período largo en algunos tipos de desechos, sobre todo en los de actividad alta y en el combustible nuclear gastado.

Esta preocupación por el futuro ha llevado al OIEA a formular principios como los siguientes:

"La gestión de los desechos radiactivos deberá realizarse de manera tal que los riesgos previstos para la salud de las futuras generaciones no sean superiores a los que resultan aceptables actualmente". Este principio se deriva de una preocupación ética por la salud de las generaciones futuras. Para cumplir este principio, es preciso que los desechos estén aislados del medio humano durante escalas cronológicas prolongadas y aunque no es posible garantizar la contención total indefinida-

mente, el propósito es que la entrada de los radionucleidos al medio ambiente no tenga consecuencias importantes. En los repositorios geológicos profundos se logrará el aislamiento mediante un sistema de barreras que rodeen a los desechos, algunas artificiales (el recipiente de los desechos, el material de relleno) y algunas naturales (la geosfera, la biosfera).

Otro principio es que:

"La gestión de desechos radiactivos debe realizarse de manera que se limite la carga transmitida a las futuras generaciones." Este principio ético se basa en la premisa de que la generación que produce los desechos es la que debe tener la responsabilidad de su gestión. Entre las responsabilidades de la generación presente está el desarrollo de la tecnología, la explotación de las instalaciones y la provisión de fondos para la gestión de los desechos radiactivos, que incluye los medios de evacuación. La gestión a largo plazo de los desechos radiactivos debe, según proceda, depender de la contención y no de arreglos institucionales a largo plazo como una característica necesaria de seguridad. Ello no excluye la posible utilización de arreglos institucionales de control como la vigilancia y los registros, pero, dadas las escalas cronológicas que intervienen, la principal garantía de seguridad no debe depender de tales medidas.

### **Problemas de la interfaz**

La principal preocupación desde el punto de vista de la gestión de desechos es que la seguridad del sistema que se aplique a este efecto no debe verse menoscabada por ninguna medida de salvaguardia que se pretenda adoptar. Entre otros problemas no tratados en este artículo cabría incluir la consideración de los costos adicionales que entrañe la necesidad de aplicar medidas de salvaguardias.

En las secciones siguientes se analizan las inquietudes en materia de salvaguardias y gestión de desechos con respecto a los desechos radiactivos y al combustible gastado, en las diversas etapas hasta la evacuación definitiva.

### **Terminación de la aplicación de salvaguardias a los desechos**

Tras las recomendaciones formuladas por el grupo asesor en 1988, en el período 1989-1990 prosiguió la labor de formulación de criterios para la terminación de la aplicación de salvaguardias a diferentes tipos de desechos, en el marco de reuniones celebradas en el OIEA. Se formularon un conjunto de criterios técnicos, aunque hubo opiniones divergentes en cuanto a los límites cuantitativos. La mayor parte de los desechos generados en el ciclo del combustible nuclear quedan enmarcados en estos criterios pero no ocurre así con otros. Con respecto a los de este último tipo que se acondicionan para aumentar su resistencia a la lixiviación, se ha propuesto considerar caso por caso la terminación de la aplicación de salvaguardias.

Según el tipo de desecho, los métodos de acondicionamiento vigentes incluyen la bituminización, la

cementación y la vitrificación. Se considera que el material de desecho por ser de calidad inferior, no resulta muy atractivo para fines de desviación y que una vez acondicionado utilizando uno de los métodos mencionados *supra*, sería muy difícil emplearlo como base para la generación de cantidades significativas de material nuclear. Cuando este tipo de desecho acondicionado se emplaza y sella en un repositorio geológico, disminuye aún más la posibilidad de que sea utilizado como fuente de material nuclear. Una opinión muy extendida entre los expertos en gestión de desechos es que la aplicación de salvaguardias debería terminar en este punto o antes. Por otra parte, cabe señalar que no existe forma física alguna de la cual no pueda recuperarse material nuclear si el costo no es importante. Tal vez las innovaciones tecnológicas proporcionen medios aún más fáciles y menos costosos de recuperar el material, y existiría entonces la posibilidad de utilizar esos medios con materiales a los que se hubiera dejado de aplicar salvaguardias.

Actualmente no existe consenso definido sobre estas últimas cuestiones y la posición oficial del Departamento de Salvaguardias es que éstas deberían mantenerse en el caso de determinados tipos de desechos, incluso después de su acondicionamiento y evacuación.

### Acondicionamiento del combustible gastado

El acondicionamiento del combustible gastado supone la inmovilización o el acondicionamiento de los conjuntos combustibles en plantas situadas en el emplazamiento, o en otro lugar. Estas operaciones suelen llevarse a cabo en medios secos. Cuando el combustible gastado llega a la instalación de acondicionamiento, se transfiere a una celda caliente donde es desmontado. A continuación, los componentes desmontados se colocan en contenedores que cumplen con los requisitos de la evacuación definitiva. En algunos casos, quizá sea preciso fragmentar los componentes, aunque lo importante es garantizar que los conjuntos combustibles conserven su integridad al llegar a la instalación de acondicionamiento. El aspecto que más repercute en las salvaguardias es la pérdida de identidad del conjunto combustible como elemento independiente a los fines contables. El proceso de manipulación de los materiales, en el cual cambia el contenido del combustible gastado a consecuencia de este tipo de operaciones, debe ir seguido de medidas encaminadas a verificar el contenido de material nuclear. La eficacia de las salvaguardias depende de las prácticas contables para verificar el contenido y la composición del material que se somete a evacuación definitiva.

Se han propuesto diversas técnicas de salvaguardias para instalaciones de acondicionamiento de combustible gastado que, por lo general, son innovaciones de técnicas ya conocidas. Es poco probable que las técnicas propuestas provoquen problemas graves desde el punto de vista de la seguridad. No se prevé el empleo de técnicas de verificación destructivas. Por el contrario, un sistema de salvaguardias eficaces requeriría la manipulación cuidadosa del combustible propiamente dicho y de los paquetes de evacuación resultantes. Con todo, en el caso de

determinados contenedores puede requerirse especial atención para asegurar que las marcas hechas con fines de salvaguardia no surtan un efecto negativo en su resistencia a la corrosión a largo plazo.

Se señala que las salvaguardias previstas impondrán ciertos requisitos en materia de diseño y configuración de la instalación de acondicionamiento. Es preciso que las autoridades nacionales, los ejecutores y el Departamento de Salvaguardias del OIEA examinen esta cuestión.

### Fase operacional de un repositorio

Un repositorio geológico es similar a una mina y consta de corredores de acceso y cavernas de evacuación, excavadas a gran profundidad dentro de la formación geológica. En la superficie del repositorio se construyen diversas instalaciones complementarias. Las galerías facilitan el acceso a las cavernas de evacuación (galerías horizontales). Se prevén como mínimo tres tipos diferentes de galerías para asegurar un uso óptimo, a saber, una galería para el transporte de los recipientes, una para el personal y la entrada de ventilación y otra para la salida del aire. Las instalaciones subterráneas del repositorio pueden diseñarse de manera que permitan la excavación de nuevas cavernas, la recepción y el transporte de combustible gastado, el confinamiento, y el relleno de las cavernas de evacuación. Las labores de minería pueden realizarse de forma continua. Tras la excavación de las cavernas, se abrirían galerías de acceso vertical y de confinamiento. El combustible gastado proveniente de la planta de acondicionamiento llegaría al repositorio en contenedores que se prepararían en las instalaciones situadas en la superficie para su evacuación definitiva. Luego los contenedores se harían descender por una galería hasta el nivel de evacuación, se trasladarían hacia la caverna de evacuación y se colocarían en las galerías de confinamiento. Se espera que todas las operaciones se realicen por telemando. Una vez confinado el recipiente, el espacio vacío se rellenaría con material de baja permeabilidad.

Cuando el repositorio se llenara a la capacidad prevista y la cámara se rellenara, se iniciaría el cierre definitivo con el relleno de todos los corredores y las aberturas al nivel de la mina. Se precintarían todas las galerías para que la integridad de la formación se asemejara a la que originalmente tenía.

En un repositorio es importante tener en cuenta los siguientes aspectos en materia de salvaguardias: identificar los distintos recipientes que entran en el repositorio y verificar que permanezcan allí hasta que se cierre la galería vertical y se precinte el repositorio.

Como la seguridad a largo plazo que proporciona el sistema de evacuación de desechos depende de que el sistema de barreras múltiples que rodea los desechos o el combustible gastado funcionen conforme a lo previsto en su diseño, es importante que ninguna de las medidas de salvaguardia adoptadas para identificar, localizar y verificar lesione el funcionamiento del sistema. Aún se trabaja en la formulación de métodos de salvaguardias idóneos para esta fase. Los métodos propuestos hacen hincapié en la iden-

tificación y contabilidad de los contenedores que entran en el repositorio, a la vez que mantienen un control constante de los movimientos en todas las vías de acceso al repositorio y en un conocimiento cabal permanente del diseño y de los cambios ocurridos en el repositorio geológico. Se ha señalado que no es importante conocer la ubicación exacta de los contenedores confinados en el repositorio, sino solamente poder verificar la entrada del contenedor de evacuación y su permanencia dentro de los límites del repositorio.

La mayoría de los métodos de salvaguardias propuestos no afectarían la integridad del contenedor de desechos ni el material circundante, aunque se ha sugerido que podrían emplearse técnicas geofísicas para localizar los paquetes en el interior del repositorio. Estos métodos no deben ser intrusivos ni perturbar las barreras geológicas naturales que contienen la migración de radionucleidos.

### Fase posterior a la clausura de un repositorio

Los repositorios geológicos están diseñados para proporcionar un aislamiento a largo plazo de los desechos radiactivos. El aislamiento de los desechos se logra mediante una combinación de barreras artificiales y naturales. Los desechos radiactivos de período largo, incluido el combustible gastado, requieren un aislamiento casi total durante períodos de muchos miles de años. Como no se concibe que la sociedad humana pueda o desee mantener controles de los repositorios durante muchos miles de años, los sistemas de aislamiento están diseñados para que sean pasivos por naturaleza. En otras palabras, la seguridad de los sistemas depende de las propiedades intrínsecas de las barreras de aislamiento y no de la existencia de procedimientos de vigilancia y mantenimiento.

Por otra parte, generalmente se reconoce que la opinión pública exigirá que se mantenga algún tipo de vigilancia en los repositorios por un período indefinido. El objetivo de esos programas de vigilancia podría ser confirmar que el sistema funciona según lo previsto en la evaluación de la seguridad y que no están ocurriendo sucesos imprevistos. Ningún programa de esta índole debe incluir actividades capaces de reducir la eficiencia de las barreras de aislamiento. La perforación en busca de muestras profundas o la instalación de instrumentos en la zona de las barreras son ejemplos evidentes de actividades inaceptables. Como las actividades de vigilancia no son necesarias por razones técnicas y sólo responden a consideraciones sociales, es a todas luces imposible predecir su duración. Podemos suponer que en el futuro, como resultado de un análisis costo-beneficio, el programa de vigilancia se suspenderá intencionalmente o que algún trastorno social significativo lo hará innecesario. En cuanto a la evacuación a poca profundidad de desechos radiactivos de período corto —opción en la que el aislamiento seguro depende del mantenimiento de controles institucionales en el emplazamiento— existe el acuerdo general de que no sería razonable esperar que los controles institucionales se mantuvieran por más de unos cuantos cientos de años.

En relación con la salvaguardia de los repositorios geológicos cerrados que contienen combustible gastado, en 1988 el grupo asesor sobre salvaguardias consideró que no se podía suspender la aplicación de salvaguardias, ni siquiera después del cierre del repositorio. Esta posición plantea interrogantes, a saber, cómo diseñar un procedimiento de salvaguardias efectivo que no incida negativamente en la seguridad del sistema de evacuación; y durante cuánto tiempo habría que mantener las salvaguardias toda vez que el combustible gastado seguirá siendo una fuente potencial de material nuclear durante cientos de miles de años.

He aquí respuestas provisionales a esos interrogantes: el repositorio debe salvaguardarse sin comprometer las características de seguridad. Como la excavación de un repositorio sellado no podría realizarse en poco tiempo ni ser invisible, un método obvio sería el análisis de imágenes obtenidas por satélite periódicamente. Por otra parte, la superficie del repositorio antiguo podría someterse a inspecciones periódicas a cargo de inspectores internacionales. Cabe señalar además que este mecanismo de vigilancia de las salvaguardias aumentaría la seguridad del repositorio, ya que reduciría o eliminaría la posibilidad de intrusión inadvertida del hombre en el repositorio.

La salvaguardia de los materiales nucleares es una cuestión importante para las sociedades de hoy día y podría seguir siéndolo en el futuro. No obstante, la situación puede cambiar de manera impredecible. Es posible imaginar escenarios en que, a causa de la evolución de la sociedad, la cuestión de las salvaguardias deje de ser importante.

### Hacia una estrecha cooperación

El objetivo principal de este análisis fue evaluar las consecuencias que tienen los requisitos de salvaguardia para la gestión de desechos radiactivos y el combustible gastado. En particular, se temía que hubiera incompatibilidad entre los requisitos de salvaguardia y el objetivo principal de la gestión de desechos, a saber, garantizar que las sustancias radiactivas presentes en los desechos permanezcan aisladas de la biosfera todo el tiempo que sea necesario para reducir a niveles aceptables sus consecuencias radiológicas.

Siempre que se cumplan algunas condiciones, la aplicación de salvaguardias a la gestión de desechos radiactivos y el combustible gastado puede realizarse sin efectos negativos para la seguridad. En primer lugar, cabe señalar que las medidas de gestión que se adoptan antes de la evacuación no parecen presentar ningún problema porque en esa etapa ya hay procedimientos de salvaguardias en vigor o pueden introducirse fácilmente. En cuanto a la evacuación, es preciso que se cumpla la condición fundamental de que los procedimientos de salvaguardias han de diseñarse teniendo en cuenta que la seguridad del sistema de aislamiento es una prioridad absoluta. En otras palabras, la integridad de las barreras artificiales situadas dentro del repositorio no puede ponerse en peligro como resultado de las medidas de vigilancia y control durante la explotación, el rellenado y el sellado de las zonas de evacuación, ni



**Los expertos están estudiando requisitos de salvaguardia para los desechos radiactivos que han de evacuarse en repositorios geológicos artificiales.**

*(Cortesía: Departamento de Energía de los Estados Unidos de América)*

puede verse amenazada la integridad de las barreras naturales por la aplicación de medidas de vigilancia y supervisión después del cierre del repositorio.

Se supone que los repositorios geológicos profundos en que se almacena material de desecho salvaguardado tienen que estar sometidos a salvaguardias durante la fase de explotación. Desde la perspectiva de la gestión de desechos, y suponiendo que se mantenga intacto el sistema de seguridad del repositorio planificado, la aplicación de salvaguardias basada en la vigilancia y el control de los accesos al repositorio ubicados en la superficie (galerías y/o rampas) no ocasionaría dificultades. Asimismo, serían aceptables las inspecciones visuales subterráneas. Sin embargo, es preciso evitar el uso de técnicas geofísicas —que pondrían en peligro las barreras de seguridad— para localizar los bultos de desechos en el interior del repositorio.

En la actualidad no existe una política de salvaguardias definida respecto de los repositorios cerrados que sólo contienen desechos. Por tanto, es preciso evaluar los requisitos de salvaguardia de este tipo de repositorios teniendo en cuenta las concentraciones relativamente bajas de los materiales nucleares contenidos en las diversas categorías de desechos radiactivos, así como las dificultades que entraña recuperar desechos acondicionados de las instalaciones de evacuación profunda cerradas, y extraer después el material nuclear.

La política del Departamento de Salvaguardias del OIEA para el combustible gastado emplazado en repositorios es la de continuar aplicando las salvaguardias después del cierre del repositorio. Las técnicas de vigilancia propuestas para el período posterior al cierre, como la combinación de imágenes de satélite e inspecciones, garantizarían la inte-

gridad permanente del repositorio y no menoscabarían su sistema de seguridad.

No es posible definir la duración prevista de la vigilancia de las salvaguardias en los emplazamientos de repositorios geológicos profundos que almacenen combustible nuclear gastado, pero, sobre la base de las composiciones del combustible gastado, los requisitos de salvaguardia podrían durar miles de años. La aceptación del requisito de vigilancia indefinida de los repositorios de combustible gastado plantea dos problemas: 1) la negación de uno de los objetivos de la gestión de desechos radiactivos, el de no imponer cargas a las generaciones futuras; y 2) la inquietante necesidad de destinar fondos a una actividad de duración desconocida y, por tanto, de un costo que no puede calcularse.

Los expertos en salvaguardias y evacuación de desechos deberían trabajar en estrecha cooperación para asegurar que los requisitos de salvaguardia se elaboren de forma compatible con los planes que incluyen el aislamiento a largo plazo de los desechos radiactivos.