

El almacenamiento temporal a largo
plazo de los residuos radiactivos:
seguridad y sostenibilidad

Colección
Otros Documentos CSN

Colección Otros Documentos 32.2008

El almacenamiento temporal a largo plazo de los residuos radiactivos: seguridad y sostenibilidad

Un documento de posicionamiento de expertos internacionales

CSN

Colección
Otros Documentos
32.2008

El almacenamiento temporal a largo plazo de los residuos radiactivos: Seguridad y sostenibilidad

El almacenamiento temporal a largo plazo de los residuos radiactivos: seguridad y sostenibilidad

Un documento de posicionamiento de expertos internacionales

Colección
Otros Documentos CSN
Referencia: ODE-09.02

Este documento es la traducción de un informe del Organismo Internacional de Energía Atómica de Viena (OIEA), realizado por un grupo de expertos internacionales, y publicado por el OIEA en el año 2003 –IAEA_LTS/RW.

El informe tiene su origen en las conclusiones y cuestiones surgidas de la Conferencia Internacional sobre la Seguridad de los Residuos Radiactivos, que tuvo lugar en Córdoba, España, del 13 al 17 de marzo de 2000, organizada conjuntamente con la CE, la NEA/OECD y WHO y responde a una de las acciones del Plan de Acción del OIEA para la Gestión de los Residuos Radiactivos, basado en las conclusiones de dicha Conferencia, fue aprobado en septiembre de 2001 para ser implementado en los siguientes años.

Una de las acciones contempladas en dicho Plan, era evaluar las implicaciones de seguridad del almacenamiento temporal prolongado de los residuos radiactivos, incluyendo el combustible gastado cuando así es considerado, y las necesidades de reacondicionamiento futuras.

El informe del OIEA, que aquí se presenta, trata de responder a parte de las cuestiones, fue revisado previamente a su publicación por el antiguo Grupo de Expertos Internacionales sobre Principios y Criterios, y por el Comité de Normas de Residuos Radiactivos (WASSC) del OIEA, con la participación de representantes del CSN.

Básicamente, partiendo de la idea de que el almacenamiento temporal es una etapa obligatoria de la gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos previa a su almacenamiento definitivo, el documento analiza una serie de aspectos relativos al almacenamiento temporal prolongado por periodos de tiempo largos y al almacenamiento definitivo, indicando las ventajas e inconvenientes de cada caso.

Las implicaciones del almacenamiento temporal prolongado del combustible gastado y los residuos radiactivos continúa siendo objeto de consideración en el OIEA por comités técnicos y grupos de expertos con representación del CSN, fundamentalmente centrado en aspectos de seguridad y de políticas.

La traducción y publicación de este informe por el CSN forma parte del plan de información y divulgación de documentos relacionados con la seguridad, la gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos, escritos en forma asequible para audiencias técnicas no especializadas y audiencias no necesariamente técnicas.

© Copyright 2008. Consejo de Seguridad Nuclear

Publicado y distribuido por:
Consejo de Seguridad Nuclear
Pedro Justo Dorado Dellmans, 11. 28040 - Madrid
<http://www.csn.es>
Peticones@csn.es

Índice

Prólogo	5
I. Introducción	9
II. Tipos de instalaciones	13
II.1. Instalaciones de almacenamiento temporal	15
II.2. Instalaciones de almacenamiento definitivo	16
III. Factores relevantes para la seguridad y sostenibilidad de las instalaciones de almacenamiento temporal	17
III.1. Seguridad	19
III.2. Mantenimiento y control institucional	21
III.3. Recuperación	21
III.4. Seguridad física	22
III.5. Costes	23
III.6. Actitudes de la comunidad	24
III.7. Transmisión de información	25
IV. Discusión	27
V. Conclusiones	31
Bibliografía	35

Prólogo

Prólogo

El almacenamiento temporal es una etapa necesaria en la gestión global de los residuos radiactivos. En los últimos años, debido principalmente a la indisponibilidad de instalaciones para el almacenamiento definitivo, los almacenes que originalmente se previeron como instalaciones de almacenamiento interino o temporal a corto plazo, han visto ampliada su vida y, en algunos países, se ha considerado seriamente la utilización del almacenamiento temporal como una opción de gestión a largo plazo.

Atención a estos desarrollos se prestó en la Conferencia Internacional sobre la Seguridad de la Gestión de los Residuos Radiactivos que tuvo lugar en Córdoba, España, en marzo de 2000. Una conclusión de la conferencia fue que el almacenamiento temporal perpetuo de los residuos radiactivos no es una práctica sostenible y no es una solución para el futuro. En consecuencia, la Conferencia General del OIEA aprobó, en septiembre de 2001, un programa de acción basado en las conclusiones de la conferencia de Córdoba. Una de estas acciones fue “evaluar las implicaciones para la seguridad del almacenamiento temporal prolongado de los residuos radiactivos y de cualquier reacondicionamiento futuro que pudiera ser necesario”. Se pidió que el OIEA investigara el papel del almacenamiento temporal prolongado en un programa sostenible de gestión de los residuos radiactivos y, especialmente, sus implicaciones para la seguridad.

Este informe se ha preparado para cumplir parcialmente la petición hecha al OIEA. El objeto del informe es reflejar las opiniones preponderantes entre los expertos en este campo. Se pretende que sirva como punto de referencia central y autorizado para las discusiones nacionales y los informes sobre la política a seguir. Tiene por tanto un interés potencial para los comités y organismos nacionales relacionados con la gestión de los residuos radiactivos. Puede tener interés también para los miembros interesados del público, pues está escrito en un lenguaje que debería ser comprensible para personas informadas profanas en el tema. El informe fue el resultado de varias reuniones de expertos que se celebraron en la primera parte del año 2002. Desde entonces ha sido revisado por el subgrupo WASSC sobre Principios y Criterios para la Disposición Final de los Residuos Radiactivos, en su reunión de septiembre de 2002, por un comité técnico, convocado específicamente para revisar el documento, en diciembre de 2002, y por el Comité Internacional sobre Normas de Seguridad de los Residuos (WASSC) en diciembre de 2002. Finalmente, las conclusiones principales del informe fueron presentadas y discutidas con los participantes en la Conferencia Internacional sobre Temas de Interés y Tendencias en la Gestión de los Residuos Radiactivos que se celebró en Viena en diciembre de 2002¹.

¹ Issues and Trends in Radioactive Waste Management. Proceedings contributed papers of a International Conference, Vienna, 9–13 December 2002.

I. Introducción

I. Introducción

En 1995, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) publicó el documento *Los principios de gestión de los residuos radiactivos*, serie sobre seguridad n° 111-F [1]. Esta publicación reflejaba un amplio consenso internacional sobre principios importantes para la seguridad en la gestión de los residuos radiactivos¹.

Uno de los nueve principios que presentaba la publicación antes referida [1] era que *los residuos radiactivos deben ser gestionados de manera que no supusieran una carga indebida para las generaciones futuras*. Esta declaración se basaba en la consideración ética de que la generación que se beneficia de una actividad debería comprometerse a hacerse cargo de los inconvenientes que dicha actividad comporta, en este caso, los residuos radiactivos procedentes de la generación de energía nuclear. Se ha realizado una interpretación amplia que implica que la generación que produce los residuos radiactivos debería tomar todas las medidas necesarias para el almacenamiento definitivo de los mismos.

En muchos países, la producción de energía nuclear y otras aplicaciones de los materiales radiactivos comenzaron antes de que se hubieran desarrollado los planes para el almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos resultantes. Cuando surgieron los residuos, éstos se almacenaron, en muchos casos, en distintos tipos de confinamientos tecnológicos en la superficie dentro de emplazamientos de acceso controlado. El trabajo de investigación y desarrollo sobre disposición final de los residuos ha mostrado que, en principio, todos los tipos de residuos radiactivos pueden ser almacenados definitivamente de forma que se proporciona protección para la salud de las personas y del medio ambiente. Para los residuos de alta actividad y larga vida, el consenso de los expertos internacionales en gestión de residuos es que el almacenamiento en instalaciones de ingeniería subterráneas profundas técnicamente acondicionadas –almacenamiento geológico– es la mejor opción de las disponibles actualmente o que pueden estar disponibles en el futuro previsible [2]. Esta opción está siendo investigada en la mayoría de los países que tienen ese tipo de residuos, y los gobiernos de dos de ellos han tomado la decisión formal de seguir adelante con las instalaciones para disposición final de residuos de alta actividad. Sin embargo, en otros países se han encontrado dificultades para continuar el proceso de desarrollo y construcción de instalaciones para el almacenamiento definitivo de los residuos de alta actividad y todavía no se dispone de instalaciones de este tipo en funcionamiento, por lo que los residuos continúan acumulándose en las instalaciones de almacenamiento temporal.

Hay muchas explicaciones para estas dificultades que se discuten más adelante. Pero conforme han ido aumentando las cantidades de residuos radiactivos en almacenamientos temporales en

¹ Los principios presentados en la referencia [1] se utilizaron después como bases técnicas para la Convención Conjunta sobre la Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre la Seguridad en la Gestión de los Residuos Radiactivos que entró en vigor en junio de 2001.

superficie, también ha ido aumentando la preocupación sobre la sostenibilidad del almacenamiento temporal a largo plazo y sobre las implicaciones asociadas tanto para la seguridad nuclear como para la seguridad física [3-8]. Al mismo tiempo algunos países han decidido estudiar la viabilidad e implicaciones de las distintas opciones de almacenamiento temporal a largo plazo. El tema se debatió ampliamente en la Conferencia Internacional sobre Gestión de Residuos Radiactivos que tuvo lugar en Córdoba, España, en el año 2000 [9]. Posteriormente, como parte del Plan de Acción sobre Seguridad de los Residuos que siguió, se pidió a la Secretaría del OIEA que investigara el papel del almacenamiento a largo plazo dentro de un programa sostenible de gestión del combustible gastado y los residuos radiactivos, especialmente, las implicaciones sobre la seguridad comparadas con las que supone la disposición final subterránea [10].

Este informe se refiere particularmente al almacenamiento de tres clases de residuos: los residuos de alta actividad resultantes del reprocesamiento del combustible nuclear; el combustible nuclear gastado al que se da la consideración de residuo; y los residuos radiactivos de actividad media y larga vida. No trata sobre los residuos resultantes de la extracción y tratamiento del material nuclear y otros grandes volúmenes de residuos de procesos que utilizan los materiales radiactivos que existen en la naturaleza.

II. Tipos de instalaciones

II. Tipos de instalaciones

Las características de las instalaciones de almacenamiento temporal y de almacenamiento definitivo pueden variar de forma importante. Sin embargo, se pueden describir una serie de características generales que son relevantes para la discusión que se hace más adelante en este documento.

II.1. Instalaciones de almacenamiento temporal

Hasta ahora, las instalaciones de almacenamiento temporal de residuos de alta actividad y combustible gastado han estado en superficie o a muy poca profundidad. Los residuos se almacenan en seco o bajo el agua. Gran parte del combustible gastado se almacena bajo el agua durante un período de tres a cinco años tras su descarga del reactor nuclear, sirviendo el agua como blindaje contra la radiación y como medio refrigerante para mantener los elementos combustibles gastados a temperaturas aceptables. En algunos países se transfiere entonces el combustible gastado a un almacenamiento temporal en seco. El combustible gastado puede también ser reprocesado y los líquidos altamente radiactivos resultantes son solidificados por vitrificación. Muchos otros residuos radiactivos se almacenan también en seco.

Dependiendo de sus características, los residuos pueden también ser acondicionados antes de ser introducidos en un contenedor. Algunos de los contenedores utilizados con este fin están diseñados para ser extremadamente duraderos y resistentes a la corrosión u otras formas de degradación durante muchos años. Los contenedores se almacenan entonces temporalmente dentro de una estructura adecuada, construidas a menudo de hormigón que proporciona blindaje contra la radiación y seguridad física. Estas estructuras, tanto si son edificios convencionales como otros tipos de estructuras masivas, están normalmente situados en un emplazamiento físicamente seguro dentro de una valla perimetral de seguridad.

En algunos casos este almacenamiento temporal está bajo tierra en lugar de sobre la superficie e, invariablemente, no está situado más allá de unos pocos metros bajo la superficie. Generalmente estas instalaciones de almacenamiento temporal están bien preparadas técnicamente, con métodos muy sofisticados de detección y prevención de cualquier fuga que se pueda producir en los bultos.

En este documento “almacenamiento temporal” quiere decir mantener el material residual en instalaciones técnicamente adecuadas situadas sobre la superficie del terreno o a unos pocos metros bajo tierra. El almacenamiento temporal es inherentemente una etapa intermedia de la gestión, implicando que el material residual será transferido en una fecha futura a una instalación de almacenamiento definitivo permanente, es decir, a una instalación de almacenamiento definitivo.

II.2. Instalaciones de almacenamiento definitivo

El método generalmente aceptado por los expertos técnicos para deshacerse de los residuos radiactivos es confinarlos y aislarlos del medio ambiente al que normalmente tienen acceso los seres humanos. Se considera que la mejor forma de aislar los tipos de residuos que se consideran en este informe es colocarlos a profundidades importantes bajo tierra, es decir, en el denominado “almacenamiento geológico profundo”. El confinamiento y aislamiento del residuo los proporcionan tanto el contenedor en el que se introduce el residuo antes de colocarlo en la instalación de almacenamiento definitivo como las diversas barreras tecnológicas adicionales y la barrera natural que supone la roca receptora. Lo esencial del almacenamiento definitivo es que la protección de las generaciones actuales y futuras y del medio ambiente se consigue mediante sistemas pasivos que incluyen barreras tecnológicas y naturales.

El almacenamiento geológico puede llevarse a cabo en distintas formaciones geológicas, siendo los tipos de roca mejor estudiados las arcillas, la sal y las rocas duras magmáticas, metamórficas o volcánicas tales como granito, gneis, basalto o toba. La profundidad a la que debe emplazarse el material a eliminar depende en gran medida del tipo de formación escogida y la capacidad de aislamiento de las formaciones por encima de aquella. Las formaciones adecuadas de arcilla, por ejemplo, tienden a presentarse en capas de unos pocos cientos de metros de espesor a profundidades de pocos cientos de metros. Los depósitos de sal se presentan como capas de sal estratificadas o domos salinos a profundidades similares o superiores. Para la disposición en roca dura, la profundidad habitual de diseño está entre 500 y 1.000 metros y se intenta utilizar zonas de la formación rocosa que estén poco fracturadas y no presenten fallas.

La característica que define al almacenamiento definitivo, en contraposición al almacenamiento temporal, es que no hay intención de recuperar el material residual y no existe o es mínima la dependencia de los controles activos a largo plazo. En otras palabras, se pretende que la disposición de los residuos en estas instalaciones de almacenamiento geológico sea permanente. Al final, la instalación de almacenamiento definitivo será cerrada y sellada y en la superficie no habrá, o podrá no haber, indicación alguna de la existencia de la instalación situada debajo, a una profundidad considerable. En muchos tipos de roca, la instalación de almacenamiento definitivo, se puede diseñar de forma que se pueda posponer el cierre de la instalación por un período que vaya desde unas decenas a unos pocos centenares de años. Durante este período se puede mantener vigilada la instalación de almacenamiento y el medio ambiente circundante, si así se desea, y la instalación puede ser diseñada de manera que se pueda recuperar el material guardado si fuera necesario.

III. Factores relevantes para la seguridad y sostenibilidad de las instalaciones de almacenamiento temporal

III. Factores relevantes para la seguridad y sostenibilidad de las instalaciones de almacenamiento temporal

Tras la Conferencia de Naciones Unidas sobre Medio Ambiente y Desarrollo de Río de Janeiro, de 1992, la *sostenibilidad* se ha convertido en uno de los ideales rectores en la toma de decisiones sobre medio ambiente. La sostenibilidad se consigue mediante “un desarrollo que satisfaga las necesidades del presente sin comprometer la capacidad de las futuras generaciones para satisfacer las suyas” [11]. Cualquiera que sea el tipo de desarrollo, el reto es siempre equilibrar de forma sostenible las dimensiones medioambiental, social y económica, “los tres pilares” que compiten entre sí. El OIEA recibió el mandato de examinar la sostenibilidad del almacenamiento temporal a largo plazo y, especialmente, las implicaciones para la seguridad comparándolos con los de la disposición final o almacenamiento definitivo [10]. Por ello, en la discusión que viene a continuación, los aspectos de sostenibilidad y seguridad del almacenamiento temporal a largo plazo se comparan con los de la disposición final en instalaciones de almacenamiento geológico.

El almacenamiento temporal es un elemento importante para la gestión segura de los residuos radiactivos y puede ser necesario para distintos fines en diferentes etapas de la gestión de los residuos. Es necesario almacenar el combustible gastado y otros residuos durante un cierto tiempo para permitir el decaimiento radiactivo y reducir los niveles de actividad y de generación de calor. Para otros tipos de residuos es un paso intermedio en el proceso global de gestión de los mismos y dura períodos de tiempo comparativamente cortos.

Un cierto número de partes interesadas han expresado su preocupación sobre el almacenamiento temporal a largo plazo cuando el período de almacenamiento es muy largo, superando algunas decenas de años. Su preocupación aumenta si parece que la fase de almacenamiento temporal puede convertirse, de hecho, en perpetua. Los que expresaron este punto de vista están preocupados, en términos generales, porque el retraso en tomar una decisión sobre la disposición final conduce a un compromiso abierto, sin límite en términos de gestión y financiación. Sin embargo, las opiniones varían ya que algunos de los grupos interesados de la sociedad han mostrado una marcada preferencia por el almacenamiento temporal continuado de los residuos radiactivos en superficie, con vigilancia permanente. Algunos de los argumentos esgrimidos en apoyo de las dos diferentes opiniones se resumen en las secciones siguientes.

III.1. Seguridad

Se ha demostrado que el almacenamiento temporal de los residuos radiactivos es seguro durante algunas décadas y se puede confiar en que continuará siendo seguro siempre que se

garantice una vigilancia y mantenimiento continuados. Por el contrario, el almacenamiento geológico garantiza la seguridad a largo plazo sin vigilancia ni mantenimiento.

La viabilidad del almacenamiento temporal seguro de los residuos radiactivos durante décadas ha sido demostrada claramente por el funcionamiento de las instalaciones existentes. Las deficiencias de algunas prácticas antiguas de almacenamiento temporal han sido reconocidas y corregidas en las instalaciones modernas. De hecho, la posibilidad de corregir los problemas que pudieran surgir puede considerarse una ventaja del almacenamiento temporal en superficie.

Es inevitable que cuando se almacenen bultos de residuos se produzca alguna degradación estructural tanto de los bultos como de su contenido a lo largo del tiempo. Este deterioro requerirá que en algún momento futuro los residuos sean transferidos, si no a una instalación de almacenamiento definitivo, sí a otra instalación de almacenamiento temporal. Cuanto más largo sea el período de almacenamiento temporal antes de su transferencia a otra instalación, tanto mayor será la probabilidad de que se produzca tal degradación con el resultado de una potencial exposición a la radiación de los trabajadores que eventualmente se encarguen de las operaciones de transferencia y manejo. Desde esta perspectiva, la seguridad está reñida con los largos períodos de almacenamiento temporal. Adicionalmente, los almacenes temporales de residuos son vulnerables a las intrusiones, inadvertidas o no, de los seres humanos si no se mantienen bajo una estrecha vigilancia. Esto hace que se transmita a las generaciones futuras la obligación de mantener una vigilancia activa de los almacenes temporales de residuos.

La disposición final en formaciones geológicas promete proporcionar el confinamiento y aislamiento de los residuos del ser humano y del medio ambiente durante períodos muy largos de tiempo requeridos. Como se dijo anteriormente, las instalaciones de almacenamiento geológico se diseñan de forma que dicho aislamiento no precise controles activos, es decir, son pasivamente seguros. Las preocupaciones de seguridad relacionadas con las intrusiones humanas son muy reducidas en comparación con el almacenamiento temporal en superficie, debido principalmente a la profundidad bajo la superficie en la que se situarán las instalaciones de almacenamiento geológico. Sin embargo, aunque muchos expertos están convencidos de que la disposición en instalaciones de almacenamiento geológico supone la mejor solución para la gestión de los residuos de alta actividad, el hecho es que no existe experiencia en el funcionamiento de tal tipo de instalación².

² Con la excepción de la instalación existente en Estados Unidos (denominada WIPP) para residuos transuránicos procedentes de programas militares.

III.2. Mantenimiento y control institucional

El mantenimiento es más sencillo en la superficie que bajo tierra, pero los controles institucionales no pueden ser mantenidos durante todo el período en que los residuos presentan riesgos.

Todas las instalaciones hechas por el ser humano precisan mantenimiento para preservar su integridad. Ello quiere decir que si la integridad de una estructura es esencial para proteger la salud y la seguridad de las personas y del medio ambiente, se necesitará un mantenimiento continuado para evitar que se degrade paulatinamente la protección que proporciona la instalación. Este mantenimiento continuado exige la continuidad de autoridades e instituciones que permitan asegurar que se realiza el mantenimiento necesario. Algunas veces, el período de tiempo durante el que se debe confiar en el control de tales instituciones, se denomina período de control institucional.

El mantenimiento requiere tanto la detección de las deficiencias como su reparación. No sólo es más fácil reparar algo que lo necesita cuando está en la superficie que cuando está bajo tierra, sino que también es más fácil detectar el inicio de las deficiencias en una instalación situada en la superficie. Un mantenimiento efectivo se ve favorecido por la localización en la superficie. Por otro lado, los sistemas de almacenamiento geológico se diseñan de forma que cualquier fallo de una barrera de protección no tendrá ninguna consecuencia para las personas o el medio ambiente porque existen otras barreras tecnológicas independientes y barreras naturales. Por ello no debería ser preciso el mantenimiento.

Puesto que la protección adecuada de las personas y del medio ambiente solo existirá en la medida que continúe el mantenimiento de las instalaciones de almacenamiento temporal y puesto que algún material radioactivo almacenado presentará riesgos durante muchos miles de años, sería preciso seguir el mantenimiento, o control institucional, durante esos períodos de tiempo o hasta que se implemente un sistema de almacenamiento definitivo permanente. Un repaso de la historia mundial revela que normalmente se producen agitaciones y cambios en períodos mucho más cortos de tiempo y, por consiguiente, es muy improbable que cualquier infraestructura social existente o que pueda ser prevista hoy en día pueda perdurar durante el tiempo necesario.

III.3. Recuperación

La recuperación del material es más fácil en instalaciones de superficie que en instalaciones subterráneas, pero la disposición final en almacenamiento geológico puede desarrollarse en etapas de manera que la posibilidad de recuperación se mantenga durante mucho tiempo.

Una ventaja del almacenamiento temporal en superficie es la facilidad de recuperación del material si se decidiera hacerlo. El tener esta posibilidad de recuperar los residuos, preserva la opción de que futuras generaciones puedan tomar decisiones diferentes en relación con el inventario existente de residuos radiactivos. Por ejemplo, da la posibilidad a dichas generaciones de reciclar el material mediante el reprocesamiento.

Trabajos recientes han demostrado que es viable desarrollar una instalación de almacenamiento definitivo de una forma gradual, por etapas, *paso a paso*, manteniendo la posibilidad de revertir las actuaciones y decisiones adoptadas en etapas anteriores, si ello se considerara necesario. Esto evita tener que tomar decisiones antes de lo necesario y que haya que cambiar estas decisiones en fecha posterior, permitiendo mayor flexibilidad para las futuras generaciones que la que ofrecían los primeros conceptos de almacenamiento definitivo. Por ejemplo, la decisión de cerrar la instalación puede ser pospuesta. También, la instalación puede diseñarse y funcionar de forma que se facilite la recuperación posterior de los residuos guardados si se quisiera. Un desarrollo importante relacionado con todo lo anterior es que ahora existen métodos de vigilancia que pueden utilizarse durante períodos de tiempo prolongados sin violar la integridad de la instalación.

Medidas para la recuperabilidad pueden ser introducidas tanto en instalaciones de almacenamiento temporal como en instalaciones de almacenamiento definitivo. Sin embargo, la recuperabilidad es una opción sólo en la medida que existan los controles institucionales y los conocimientos técnicos necesarios y que se haya desarrollado una opción adecuada de gestión alternativa de los residuos. Si se dan todos estos elementos, la recuperación sería posible tanto para el almacenamiento temporal como para el almacenamiento definitivo.

III.4. Seguridad física

Poner los materiales peligrosos bajo tierra aumenta la seguridad física de los materiales.

En las últimas décadas, la seguridad física de los materiales nucleares ha sido causa de creciente preocupación. Algunos incidentes de tráfico ilícito y los sucesos del 11 de septiembre de 2001 en los Estados Unidos han aumentado esta preocupación. Las amenazas para la seguridad física incluyen cualquier posesión no autorizada de material, el robo del material para un posterior uso ilícito o el sabotaje para causar incidentes en el emplazamiento, es decir, la dispersión del material en el medio ambiente.

Aunque el material nuclear ha estado sujeto siempre a medidas de seguridad física para evitar que cayera en manos no autorizadas, se reconoce ahora que también el material no fisionable debe protegerse ante la amenaza de que terroristas puedan diseminar la contaminación.

Obviamente, el material es mucho más vulnerable al ataque si está en la superficie. Las instalaciones de almacenamiento definitivo en formaciones geológicas están fuera del alcance de la mayoría de estos individuos o grupos, salvo para los más determinados y sofisticados.

Muchas instalaciones actuales de almacenamiento temporal están situadas en el mismo emplazamiento que otras instalaciones nucleares activas y por tanto se benefician de medidas globales de seguridad física del emplazamiento. Si el almacenamiento temporal en superficie sigue mas allá de la vida operativa de las otras instalaciones activas del emplazamiento, las medidas de seguridad tendrán que proseguir de manera independiente.

III.5. Costes

El almacenamiento definitivo tiene mayores costes de inversión; el almacenamiento temporal supone costes importantes de operación.

En el contexto del almacenamiento temporal y almacenamiento definitivo, la *sostenibilidad* requeriría que los costes actuales y a largo plazo de gestión de las instalaciones de almacenamiento temporal y almacenamiento definitivo se internalizaran; costes internalizados son los costes que son soportados directamente por aquellos que reciben los beneficios. La Comisión de Naciones Unidas sobre Desarrollo Sostenible ha pedido a los gobiernos que internalicen los costes de gestión de los residuos radiactivos en la medida de lo posible [12]. Si el almacenamiento temporal a largo plazo ha de ser sostenible, deberían dotarse fondos suficientes para mantener el almacenamiento temporal actual y afrontar las acciones futuras de gestión tales como reacondicionamiento, reprocesamiento o almacenamiento definitivo. Las estimaciones de financiación a largo plazo se basan en los métodos de descuento de costes que son muy sensibles a la inflación y tipos de interés futuros, por no citar la estabilidad institucional. Las tasas de interés e inflación a largo plazo no pueden predecirse con precisión; las proyecciones de costes para acciones más allá de una generación (30 años) llevan asociada una gran incertidumbre adicional. Por ello, cualquier estimación de la financiación necesaria para sostener el almacenamiento temporal a largo plazo tendrá una gran incertidumbre. Aunque el almacenamiento temporal en funcionamiento requiere un gasto continuo de recursos para garantizar todo tipo de seguridad, incluida la física, las necesidades anuales de recursos son muy inferiores a las que se precisan durante el limitado período de desarrollo, construcción y operación de una instalación subterránea de almacenamiento definitivo.

Los elevados costes de capital asociados con una instalación de almacenamiento definitivo es un factor significativo, especialmente teniendo en cuenta el largo período de tiempo (del orden de 20 años o más) desde que comienzan los trabajos dirigidos a una opción de almacenamiento geológico y la introducción de los primeros residuos en la instalación. Muchas autoridades competentes

han dado el paso de exigir a las empresas que producen energía nuclear que creen de forma continuada fondos separados para pagar los costes futuros del almacenamiento definitivo de los residuos generados (es decir, que se internalicen los costes).

III.6. Actitudes de la comunidad

Las instalaciones de almacenamiento temporal provocan menos oposición pública que las instalaciones de almacenamiento definitivo.

Por varias razones, parece que existe menos oposición a crear o expandir instalaciones de almacenamiento temporal que instalaciones de disposición final o almacenamiento definitivo. Está muy claro que los niveles de aceptación de instalaciones de almacenamiento temporal nuevas o ampliadas es mayor entre las comunidades que han vivido cerca de instalaciones nucleares durante muchos años; a menudo se considera una continuación de la práctica existente. El establecimiento de una instalación de almacenamiento definitivo es un proceso que conlleva muchos puntos de decisión, cualquiera de los cuales puede conducir al rechazo; el proceso de ampliar una instalación de almacenamiento temporal existente incluye menos puntos de decisión. Se entiende que el almacenamiento temporal es un paso intermedio en la gestión de los residuos mientras que el almacenamiento definitivo es permanente y esto puede ser, quizás, otra razón para que el almacenamiento temporal encuentre una mayor aceptación.

La familiaridad con la gestión de los materiales nucleares, la confianza en la seguridad y las oportunidades de empleo pueden promover la aceptación de las instalaciones de almacenamiento temporal en las comunidades donde ya funcionan otras instalaciones nucleares. Sin embargo, esto no significa que no se expresen preocupaciones cuando se presenta una propuesta para ampliar una instalación existente o para construir una nueva. La aceptación está condicionada a que la instalación de almacenamiento sea temporal y no constituya el destino final de los residuos; la opción de almacenamiento perpetuo parece tener poca aceptación.

La aceptación de la comunidad para el emplazamiento de una instalación de almacenamiento definitivo está vinculada a un cierto número de aspectos. Las preocupaciones se refieren normalmente a la seguridad de esas instalaciones y a la posibilidad de detectar y mitigar cualquier problema que pudiera surgir. El carácter permanente de esta forma de gestión es poco atractiva para algunos porque priva a las generaciones futuras de la opción de elegir cómo se gestionan los residuos. El transporte de los residuos se cita también como un tema que cuenta con poca aceptación por la comunidad, a pesar del impresionante record de seguridad en el transporte a escala mundial. En contraposición a lo anterior, la nueva capacidad de almacenamiento temporal puede suponer únicamente la ampliación de un permiso existente en un emplazamiento donde ya funcionan otras

instalaciones nucleares. Esto contribuye, quizás, a la percepción de que las instalaciones de almacenamiento temporal son mejor aceptadas que las de almacenamiento definitivo.

III.7. Transmisión de información

El almacenamiento temporal a largo plazo de los residuos radiactivos requiere que se transmita información a las generaciones futuras.

Las actividades necesarias para garantizar la seguridad del almacenamiento temporal a largo plazo de residuos radiactivos, tales como seguridad física, vigilancia e inspecciones reguladoras, precisan que se retenga una gran cantidad de información. Puesto que cabe esperar actividades de mantenimiento en la instalación así como la eventual transferencia de los bultos de residuos, la información necesaria es la relativa al inventario de residuos, sus características y lugar de almacenamiento, la tecnología utilizada para su acondicionamiento y embalaje, y el diseño de la instalación de almacenamiento. Toda esta información debe ser retenida durante la vida entera de la instalación de almacenamiento temporal.

Esta información no sólo debe ser retenida sino que debe ser legible y entendible por las generaciones futuras. Esto supone una dificultad potencialmente importante. Los sistemas tradicionales basados en el papel son susceptibles de degradación paulatina debido a mala calidad del papel o de la tinta, decaimiento del material orgánico, fuego, inundaciones, ataques por hongos, daño producido por insectos o roedores, etc. Los sistemas basados en las tecnologías modernas (es decir, almacenamiento de datos en soporte informático) son más resistentes a muchos de los factores anteriores, pero presentan sus propias vulnerabilidades. Por ejemplo, requieren una constante puesta al día y mantenimiento para asegurar que el medio de almacenamiento no se hace obsoleto por los cambios tecnológicos y, por otro lado, el *software* puede llegar rápidamente a no ser legible debido al desarrollo de nuevos sistemas. Puede producirse el hecho de que incluso con registros intactos las generaciones futuras no tengan el conocimiento que se precisa para entenderlos.

Idealmente, debería estar disponible para las generaciones futuras la misma información en el caso de una instalación de almacenamiento definitivo de residuos que en el caso de una de almacenamiento temporal. Pero si la transmisión de información al futuro es incompleta, las consecuencias en el caso de la instalación de almacenamiento definitivo no deberían representar una preocupación de seguridad puesto que su diseño y construcción pretenden que la seguridad a largo plazo no dependa, o lo haga en muy pequeña medida, de la actividad humana. Por consiguiente, desde la perspectiva de la transmisión de información, se garantiza mejor la seguridad a largo plazo mediante la disposición del material residual en instalaciones de almacenamiento definitivo en el plazo razonable más breve.

Las salvaguardias para los materiales nucleares se deben mantener para asegurar continuamente que no se ha sustraído ningún material nuclear. Las naciones firmantes del Tratado de No Proliferación (NPT) [13] deben asegurar que dentro de sus fronteras no se desvía material nuclear para usos no declarados o no pacíficos. El OIEA, en su papel de salvaguardias, es responsable de proporcionar una verificación internacional independiente de que los gobiernos están cumpliendo sus compromisos con respecto al NPT. El sistema de salvaguardias está bien establecido para las instalaciones de almacenamiento temporal en superficie.

Durante la fase de funcionamiento, las salvaguardias para las instalaciones de almacenamiento definitivo en formaciones geológicas exigirán medidas y esfuerzos adicionales en comparación con el almacenamiento temporal en superficie. Las salvaguardias del material nuclear en la instalación de almacenamiento geológico tendrán que continuar, incluso, después de que las instalaciones hayan sido clausuradas y selladas. Sin embargo, se espera que las garantías de salvaguardias en la fase posterior a la clausura de los repositorios geológicos se consigan con un esfuerzo muy limitado.

IV. Discusión

IV. Discusión

Está claro que el tema de si continuar con el almacenamiento temporal a largo plazo o ir a la disposición final de los residuos radiactivos en instalaciones de almacenamiento definitivo no es únicamente técnico. Otros factores de naturaleza social, política, económica y ética son también muy importantes. Está igualmente claro que estos factores no influyen todos en el mismo sentido. Por ejemplo, la opinión actual de la sociedad, aunque no es uniforme, no parece inclinarse claramente a favor del almacenamiento definitivo. Esto resulta de hecho en un continuado almacenamiento temporal en la superficie pues constituye una excepción encontrar una comunidad que apoye el desarrollo de una instalación de disposición final entre ellos. Las consideraciones políticas dan una gran importancia a las opiniones de la sociedad pues pueden afectar al sentido del voto electoral. Aunque existen buenas razones a favor del almacenamiento definitivo, no proporcionan una fuerza importante para una actuación política en ese sentido.

Las consideraciones económicas son complejas y dependen de distintas variables, por ejemplo, de si se ha creado un fondo específico para pagar los costes de la gestión final y dicho fondo está protegido para que no se use para otros fines. Los costes medioambientales internalizados son un indicador clave de la sostenibilidad de una práctica. Si existe un fondo para internalizar los costes de la gestión final hay un argumento económico para proceder con el almacenamiento definitivo; pero si no existe, el coste de capital de la instalación de disposición final puede dar lugar a que se continúe con el almacenamiento temporal por consideraciones económicas. Dado que los costes descontados presentan grandes incertidumbres para períodos superiores a una generación y dadas las incertidumbres inherentes a la futura gestión final de los residuos, no está claro cómo se deberían internalizar los costes de almacenamiento temporal a largo plazo.

No es deseable dejar un problema no resuelto a las generaciones futuras pero tampoco es deseable privar a las generaciones futuras de ciertas opciones debido a las decisiones adoptadas por la generación actual. Algunos, basados en consideraciones éticas, claman que este último argumento llevaría rápidamente a justificar que la presente generación no tomara ninguna iniciativa sobre muchos temas y que la anticipación de decisiones futuras es éticamente aceptable siempre que la iniciativa actual esté bien motivada y sea razonable a la luz de los conocimientos actuales.

El almacenamiento temporal en superficie a largo plazo no es la mejor opción desde el punto de vista de la seguridad física porque el combustible nuclear gastado y los residuos de alta actividad almacenados superficialmente son más vulnerables al robo y al sabotaje. Las consideraciones de seguridad física, que cada vez tienen un mayor peso, llevan de manera clara e inequívoca a la conclusión de que se debe ir a la disposición final en instalaciones de almacenamiento definitivo tan pronto como sea razonablemente factible. Situar el material residual bajo tierra, incluso sin llegar al

cierre definitivo de la instalación, hace aumentar de manera importante la dificultad de acceso al material para las personas no autorizadas.

Con respecto a la seguridad nuclear y radiológica, hay dos argumentos contrapuestos. El hecho de que el almacenamiento temporal seguro en superficie precise de la continuidad de las inspecciones y del mantenimiento es un poderoso argumento a favor de la disposición final en instalaciones de almacenamiento subterránea puesto que en algún momento futuro cabe esperar que se produzcan discontinuidades en las estructuras actuales que garantizan esas inspecciones y mantenimiento. El principal argumento contrapuesto es la afirmación de que la facilidad de introducir medidas correctoras en el almacenamiento temporal en superficie puede contribuir a un mejor nivel de garantía de la seguridad. La experiencia internacional pone de manifiesto que la necesidad de tales acciones correctoras puede reducirse con relativa facilidad si los diseñadores y operadores de la instalación y los reguladores nacionales actúan con la diligencia adecuada. Se puede diseñar una instalación para aprovechar las ventajas de un fácil acceso para un buen comportamiento; pero también puede diseñarse para no precisar acciones correctoras si se sabe de antemano que el acceso será difícil. Y también debe recordarse que el acceso a una instalación subterránea, aunque más difícil, siempre es posible. Cualquiera que sea la situación a corto plazo, la seguridad de los almacenamientos temporales en superficie degenerará a largo plazo si no se mantienen unos controles activos.

El argumento de que se debería posponer cualquier iniciativa hasta que se desarrolle una solución científica mejor no es convincente. Después de varias décadas de investigación sobre el almacenamiento definitivo de los residuos radiactivos, el almacenamiento geológico es la única propuesta que ha conseguido una amplia credibilidad dentro de la comunidad científica y por tanto es dudoso que pueda surgir pronto una idea completamente nueva. Una consideración adicional es que si la disposición geológica definitiva proporciona un buen nivel de seguridad no es necesario, incluso no es una gestión financiera responsable, gastar más recursos en el desarrollo de alternativas.

V. Conclusiones

V. Conclusiones

La fase de almacenamiento temporal es necesaria para la gestión segura de muchos tipos de residuos radiactivos. Durante la fase de almacenamiento temporal, por ejemplo, los niveles de radiación y de generación de calor pueden disminuir hasta niveles más manejables. También el almacenamiento temporal es una parte necesaria de los programas de tratamiento y acondicionamiento de los residuos. El almacenamiento temporal se ha llevado a cabo de manera segura durante unas pocas décadas y existe una gran confianza en que podrá continuar así durante períodos limitados de tiempo.

La seguridad del almacenamiento temporal a largo plazo exige el mantenimiento de las infraestructuras industriales, reguladoras y de seguridad física tal y como se describió en secciones anteriores. La seguridad a largo plazo también precisa que las sociedades futuras estén en situación de ejercer un control activo sobre estos materiales y mantener una transferencia efectiva de responsabilidades, del conocimiento y de la información de generación a generación. El almacenamiento temporal a largo plazo sólo es sostenible si las sociedades futuras pueden mantener estas responsabilidades.

No se pueden garantizar los controles activos a perpetuidad porque no existe garantía de que se puedan mantener las infraestructuras sociales a perpetuidad. Por consiguiente, para los tipos de residuos que estamos considerando aquí, residuos que presentan riesgos durante miles de años, el almacenamiento temporal perpetuo no se considera viable ni aceptable.

La seguridad del almacenamiento geológico definitivo está ampliamente aceptada por la comunidad técnica y un cierto número de países ha decidido ya perseguir esa opción. El almacenamiento temporal y el almacenamiento definitivo constituyen actividades complementarias, no competidoras, y ambas son necesarias. Sin embargo, los plazos y la duración del proceso de pasar desde el almacenamiento temporal a la disposición final en instalaciones de almacenamiento definitivo vienen influenciados por muchos factores, no sólo la sostenibilidad del almacenamiento temporal a largo plazo. Se necesita prestar atención a las estrategias de almacenamiento temporal y de disposición final a la vista de los muchos temas que se plantean, que incluyen: el transporte de los residuos radiactivos desde las instalaciones de almacenamiento temporal a las instalaciones de disposición final; la seguridad física de los residuos; la recuperabilidad de los residuos almacenados; el embalaje y acondicionamiento seguro de los residuos para almacenamiento temporal a largo plazo y el almacenamiento definitivo y la disponibilidad de emplazamientos adecuados para disposición final; la confianza de que se pueden alcanzar niveles adecuados de seguridad; y la disponibilidad de fondos adecuados.

Bibliografía

Bibliografía

- [1] International Atomic Energy Agency, *The Principles of Radioactive Waste Management*, Safety Series No. 111-F, IAEA, Vienna (1995).
- [2] Radioactive Waste Management Committee of the OECD Nuclear Energy Agency, *Geological Disposal of Radioactive Waste: Review of Developments in the Last Decade*, OECD, Paris (1999).
- [3] Expert Group on Disposal Concepts for Radioactive Waste, *Disposal Concepts for Radioactive Waste*, Federal Office of Energy, Bern, Switzerland (2000).
- [4] House of Lords Select Committee on Science and Technology, *Management of Nuclear Waste*, HMSO, London (1999).
- [5] Gruppe Ökologie, *Comparison of Options for Radioactive Waste Management*, Contract No. 02 E 9350, Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Hannover (2001) (en alemán).
- [6] Nuclear Regulatory Commission, *Disposition of High-Level Waste and Spent Nuclear Fuel: The Continuing Societal and Technical Challenge*, Board of Radioactive Waste Management of the National Research Council of the US National Academy of Sciences, Washington, DC (2000).
- [7] Hill, M., Gunton, M., *A Multi-Attribute Comparison of Indefinite Storage and Geological Disposal of Long-Lived Radioactive Wastes*, Rep. PTR-01-02, Pangea, Baden, Switzerland (2001).
- [8] Smith, K.R., *Comparison of Final Management Options for High Level Waste: Disposal Versus Storage — Identification of Issues*, Rep. NRPB-M956, National Radiological Protection Board, Chilton (1998).
- [9] *Safety of Radioactive Waste Management* (Proc. Int. Conf. Córdoba, 2000), IAEA, Vienna (2000).
- [10] International Atomic Energy Agency, *Measures to Strengthen International Co-operation in Nuclear, Radiation, Transport and Waste Safety*, IAEA Board of Governors General Conference, GOV/2001/31-GC(45)/14, IAEA, Vienna (2001).

- [11] *Sustainable development: Critical issues*, Environment and Sustainable Development 13 (2001) 1–490.
- [12] United Nations Economic and Social Council, “Report of the Commission on Sustainable Development on its Second Session”, 16–27 mayo 1994, *Official Records of the Economic and Social Council*, Supplement No. 15 (E/1994/33), United Nations, New York (1994).
- [13] *Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons*, UN General Assembly, 22nd Session, Resolution Number 2373, Adoptado el 12 junio 1968, Entrada en vigor el 5 marzo 1970, INFCIRC/140, IAEA, Vienna (22 abril 1970).