
EL RETO DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS

PROTEGER AL HOMBRE Y SU ENTORNO

MARIE-CLAUDE DUPUIS

Presidenta
Comité de Gestión de Residuos
Radiactivos de la AEN/OCDE.
Directora General
Agencia Nacional de Residuos Radiactivos
ANDRA (Francia)

El problema de la gestión de residuos radiactivos ha adquirido una importancia creciente con el desarrollo de la producción electronuclear, especialmente al finalizar los primeros shocks petrolíferos de los años setenta. En aquel entonces, se trataba de ofrecer respuestas seguras a las cantidades crecientes de residuos con material radiactivo. Al mismo tiempo,

la toma de conciencia general sobre la necesidad de proteger el medio ambiente se traducía en exigencias que era conveniente satisfacer. La movilización de equipos científicos y técnicos en numerosos países occidentales ha llevado a la propuesta de soluciones. El almacenamiento seguro en medio geológico, en la superficie o en profundidad, según las características de los residuos radiactivos, presentaba mayores garantías de seguridad. Aparecieron varias instalaciones de almacenamiento para residuos radiactivos de actividad baja o media y de vida corta. En cambio, el almacenamiento geológico de residuos de alta actividad y vida larga planteó problemas que iban más allá del mero marco científico y técnico, y a los que sólo una nueva perspectiva, una nueva gobernanza podía traer progresos encaminados a la realización de obras que garantizaran la seguridad, tanto para el presente como a muy largo plazo.

Dentro de este contexto, actualmente, cuando se empiezan a crear las primeras instalaciones de alma-

cenamiento geológico de residuos radiactivos de alta actividad y vida larga, la Agencia de Energía Nuclear celebra sus cincuenta años. Para mí es también la ocasión de repasar los problemas que plantea la gestión de residuos radiactivos y, por supuesto, el papel de las instancias internacionales, entre las cuales se encuentra en primera fila la AEN para apoyar el desarrollo de soluciones entre sus Estados miembros.

LOS RESIDUOS RADIATIVOS †

Los residuos radiactivos se llevan produciendo desde que se descubrió la radiactividad. Las primeras extracciones de materia dieron lugar inevitablemente a la producción de residuos. Las mentes ilustres dedicadas a la investigación no habían valorado todavía las consecuencias de la radiactividad sobre la salud y la calidad del medio ambiente. La industria especializada en la extracción y en las apli-

caciones de la radiactividad no tenía tampoco mucha conciencia de los posibles efectos de su actividad. Los residuos depositados en el fondo del patio o del jardín dieron lugar a varios vertederos, entonces «incontrolados», algunos de los cuales se han descubierto en estos últimos años.

Estos lugares, que recibieron durante un tiempo el nombre de «lugares huérfanos» son objeto de acciones de seguridad y de obras de rehabilitación a medida que se van identificando. Datan del periodo del descubrimiento de la radiactividad por Henri Becquerel (1866) y de los trabajos de Pierre y de Marie Curie hasta la segunda guerra mundial. Pero estos residuos heredados de los comienzos de la era nuclear no eran precisamente los que planteaban riesgos más importantes.

Con el desarrollo de las aplicaciones militares y después electrónicas, y del conjunto de las infraestructuras de investigación que las acompañan, se han producido numerosos residuos. Entonces se enterraron en trincheras, como por ejemplo en sus inicios en el Centro de Almacenamiento del Canal de La Mancha, o se arrojaron al mar.

Los vertidos al mar cesaron tras la firma de la Convención de Londres. Este convenio sobre la prevención de la contaminación marina por vertidos de residuos se aprobó en noviembre de 1972 y entró en vigor en 1975 [1]. Su objetivo es prohibir el vertido al mar de residuos de origen terrestre, incluyendo los residuos radiactivos. Cabe destacar que los vertidos realizados directamente mediante canalización sobre el litoral no tienen la consideración de inmersiones.

El fuerte desarrollo de la producción electronuclear, especialmente con ocasión de las primeras crisis petrolíferas, supuso un flujo considerable de residuos radiactivos procedentes de las reacciones de fisión del uranio. La industria electronuclear genera tres grandes categorías de residuos:

1] Los residuos de la explotación corriente de las centrales, que incluyen filtros y resinas usados, residuos procedentes del tratamiento de efluentes químicos cargados de radionucleidos y todos los accesorios utilizados para el mantenimiento corriente (trapos, papel, pequeñas herramientas...);

2] Los combustibles usados o los residuos de su reprocesamiento. Algunos Estados practican una gestión en ciclo abierto, en la que el combustible usado se considera un residuo (por ejemplo, Canadá, Finlandia, Suecia). Los Estados que practican una gestión en ciclo cerrado proceden a un tratamiento del combustible usado destinado a recuperar las materias reutilizables, como el uranio o el plutonio (por ejem-

pl, Francia, Reino Unido, Rusia). Estados Unidos practican hasta la fecha una gestión en ciclo abierto, pero se han reanudado las investigaciones dentro del marco de la iniciativa GNEP (Global Nuclear Energy Partnership) [2] que incluye la perspectiva de tratamiento de combustibles usados. Muchos países se han sumado a la iniciativa GNEP propuesta por Estados Unidos.

3] Al término de su explotación, se clausuran las instalaciones. A continuación son desmanteladas y se rehabilita el emplazamiento. El conjunto de los residuos del desmantelamiento y la rehabilitación de la zona es el tercer flujo importante de residuos. No obstante, mientras los residuos de las dos primeras categorías se producen a lo largo de toda la vida de las centrales, los procedentes del desmantelamiento sólo se producen al final de la vida, en general más de 40 años después de su entrada en servicio.

La producción electronuclear afecta en la actualidad a más de treinta países, con 439 reactores en explotación para una potencia acumulada de más de 370.000 Gwe. A estas cifras conviene añadir 35 reactores en construcción y 5 paralizados [3]. Tampoco hay que olvidar los casi 670 reactores de investigación repartidos por todo el mundo, de los que más de la mitad están paralizados en la actualidad y en proceso de desmantelamiento; su potencia acumulada se acerca a 700.000 MWth.

Los diferentes tipos de combustible y de reactores instalados, así como los diferentes procedimientos de tratamiento utilizados llevan a cantidades y características de residuos bastante diferentes. Existen inventarios por países en la base de datos NEWMDB de la AIEA [4]. No obstante, es delicado agregar cifras producidas sobre bases muy diferentes. Es más, los esfuerzos realizados por los titulares de las explotaciones desde hace unos treinta años han llevado a minimizar eficazmente los flujos de residuos. En esta fase, podemos tener en cuenta una valoración aproximada de los flujos anuales de explotación inferior a 100 m³ por reactor. La producción mundial de combustibles usados es del orden de 7.000 toneladas al año, lo que dará lugar a una cantidad de residuos inferior, tras las operaciones de reprocesamiento para una parte de los combustibles usados, ya que se habrán recuperado el uranio y el plutonio. Cabe recordar que la fracción residual de los residuos tras reprocesamiento sólo representa alrededor del 5% en masa; es decir, unas 0,05 toneladas por tonelada de combustible.

El panorama de los residuos radiactivos no estaría completo si no citásemos también los residuos relacionados con las aplicaciones médicas, industriales y de la investigación. Para los países dotados de

CUADRO 1
PRINCIPIO DE CLASIFICACIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS EN ESPAÑA

	Corta y media vida	Larga vida
Nivel muy bajo (VLL)	Depósito en instalaciones de superficie bajo autorización. El Cabril	Estabilización «in situ» en minas
Nivel muy bajo y medio (LIL)	Instalaciones existentes de superficie. El Cabril	En estudio de acuerdo con el borrador de nuevo 6º PGR
Nivel alto (HL)	En estudio de acuerdo con el borrador de nuevo 6º PGR	

FUENTE: Elaboración propia

producción electronuclear, esta última categoría de residuos sólo representa volúmenes muy pequeños. Por ejemplo, para Francia, el volumen de residuos correspondientes sólo representa el 3,3% del volumen de los residuos considerados de vida corta [5].

Clasificación de los residuos radiactivos ↓

Los sistemas de clasificación de los residuos radiactivos difieren de un país a otro. Históricamente, las primeras clasificaciones se han desarrollado básicamente por motivos de radioprotección de los trabajadores durante la explotación de las instalaciones. La perspectiva de almacenar residuos radiactivos ha llevado a los diferentes países a desarrollar criterios de clasificación basados en las opciones técnicas previstas para el almacenamiento.

Básicamente, los residuos radiactivos se pueden clasificar en función de su destino final, un almacenamiento en superficie o a baja profundidad, o bien un almacenamiento en formación geológica, a una profundidad que puede llegar a varios centenares de metros. Las diferentes categorías de residuos se describen teniendo en cuenta, por una parte, la disminución radiactiva (caracterizada por la duración de vida de los elementos radiactivos que contienen y por otra, del nivel de radiactividad que encierran. Los residuos de explotación corresponden a residuos llamados de vida corta, cuyos radionucleidos tienen una duración de semivida inferior a 30 años, con un nivel de actividad baja o intermedia. Los combustibles usados o los residuos de su tratamiento contienen radionucleidos de vida larga y presentan los niveles de radiactividad más elevados, del orden de 10.000 millones de Bq por gramo (1 Bq —Becquerel— corresponde a una desintegración por segundo). Finalmente, los residuos producidos por el desmantelamiento de las instalaciones tienen niveles de actividad generalmente muy bajos, cercanos al de la radiactividad natural, inferior como media a 10 Bq/g.

El sistema de clasificación en España se ajusta a estos dos criterios. Lo tenemos en el cuadro 1, que procede

de la información que consta en el texto de la Convención Conjunta [7].

Encontramos sistemas similares en numerosos países, como Francia y Bélgica. En Suecia, por ejemplo, se han adoptado sistemas más sencillos, con una clasificación que corresponde estrictamente a las tres categorías de residuos de la industria nuclear indicadas anteriormente: los residuos de explotación, los combustibles usados y los residuos de desmantelamiento. En el caso de Alemania, todos los residuos están destinados a un almacenamiento geológico. La elección de la formación geológica y del lugar se basa en el criterio exclusivo de potencia térmica de los residuos.

ESTADO DE LA GESTIÓN DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS †

La mayor parte de los países ha optado muy pronto por el almacenamiento de los residuos radiactivos a medida que se iban produciendo. En primer lugar, en los grandes centros de investigación se han realizado almacenamientos destinados a dejar en lugar seguro los residuos radiactivos producidos. Con el desarrollo del sector nuclear, se han diseñado y construido las primeras grandes instalaciones de almacenamiento. Las instalaciones existentes se ocupan de los residuos de vida corta, de actividad baja o media. Estos residuos contienen radionucleidos con una vida inferior o igual a 30 años. Al finalizar 10 periodos (o semividas), se considera que el nivel de radiactividad que encierran ha disminuido por simple decrecimiento radiactivo hasta el nivel de la radiactividad natural. Se están explotando instalaciones de este tipo en numerosos países, bien en superficie, bien a baja profundidad.

Los países escandinavos, Suecia y Finlandia, han preferido almacenar sus residuos de explotación en su subsuelo granítico. Han realizado construcciones que permiten recibir y mantener los residuos con seguridad.

En numerosos países europeos (Francia, España, Reino Unido), así como en Japón, se realizan obras en

superficie, cuyas características permiten garantizar la protección del hombre y de su entorno durante el tiempo necesario, es decir, unos 300 años.

La seguridad de las instalaciones de almacenamiento descansa en la protección de los residuos contra los efectos del agua. El agua es el único factor que podría alterar los paquetes de residuos y transportar los radionucleidos que contienen hacia el medio ambiente haciéndolos llegar al consumo, bien directamente, bien a través de la cadena alimentaria. Para alcanzar un nivel de protección suficiente, los residuos se almacenan en forma sólida, estabilizados en celdas de hormigón o en paquetes estancos, con un tiempo de vida en condiciones de almacenamiento ya constatado.

Estos paquetes deben colocarse en construcciones a través de las cuales los flujos de agua están limitados a niveles extremadamente débiles. Las obras se diseñan en función de las condiciones del entorno geológico e hidrogeológico del lugar, así como teniendo en cuenta los posibles efectos climáticos. Así es como, por ejemplo, los almacenamientos en superficie cuentan con una cubierta impermeable, similar a la instalada en el Centro de Almacenamiento de La Mancha, en Francia.

El Centro de Almacenamiento de La Mancha se explotó de 1969 a 1994 y recogió 527.000 m³ de residuos de baja y media actividad y vida corta. El lugar se cubrió completamente con una cubierta estanca y está en fase de vigilancia desde 2003. En esta región lluviosa, los flujos de agua meteorológica medidos en el lugar han pasado de 21.000 m³ en 1991, antes de la colocación de la cubierta, a 210 m³ en 2005. La actividad procedente de la presencia de paquetes se ha dividido en proporciones todavía más importantes, haciendo prácticamente inútiles las instalaciones de recogida y tratamiento de efluentes realizadas durante la explotación del centro.

En numerosos países, como por ejemplo Bélgica, se han empezado a almacenar los residuos radiactivos para poder almacenar los producidos por sus propias centrales nucleares. Los residuos producidos hasta ahora se han almacenado en instalaciones especiales, con plena seguridad.

Por último, debemos señalar los países en los que cada central nuclear está dimensionada para el volumen de residuos producido durante el tiempo de vida de los reactores. Debía encararse así el almacenamiento con ocasión del desmantelamiento de los reactores. Es el caso de las instalaciones de la Federación Rusa y de Ucrania. Con la prolongación del tiempo de servicio de los reactores, los almacenamientos se han saturado. Estos dos

países han emprendido, con el apoyo de la Comunidad Europea, la realización de estudios para la construcción de almacenamientos para sus residuos radiactivos de explotación.

En lo que se refiere a los combustibles usados o a los residuos de su tratamiento, los considerados de alta actividad y vida larga, tras numerosos estudios y revisiones de las posibilidades de gestión, se ha llegado a la conclusión de que el almacenamiento geológico era la solución más fiable. Es el único que puede garantizar la seguridad de las personas y del medio ambiente durante periodos compatibles con el tiempo de vida de los elementos que encierran. Desde 1985, el *Radioactive Waste Management Committee* de la Agencia para la Energía Nuclear (AEN/OECD) ha llegado a la conclusión en una «Opinión Colectiva» que el almacenamiento en formación geológica podía garantizar el confinamiento de los residuos de forma pasiva [8]. Por este medio se intentará aislar los residuos durante periodos plurimilenarios, pues algunos radionucleidos tienen semividas de varios centenares de años, como el americio (432 años para Am²⁴¹), o incluso varios centenares de miles de años como el neptunio (2,14 millones de años para Np²³⁷).

Los periodos que teníamos para residuos de vida larga son coherentes con la estabilidad de las formaciones geológicas, para las que habrá que establecer, de la misma forma que para el almacenamiento en superficie, los flujos de agua más débiles que sea posible. En este caso, se trata de aguas subterráneas, naturalmente presentes en las formaciones geológicas, en mayor o menor cantidad.

Hasta la fecha, únicamente la instalación del WIPP (Waste Isolation Pilot Plant) en Nuevo México (EE.UU.) recibe residuos de vida larga. Se trata de un almacenamiento en sal, el medio anhidro por excelencia, en el que se guardan residuos de investigación y aplicaciones militares. En cambio, no hay ninguna instalación de almacenamiento disponible para los residuos de vida larga de la producción nuclear. Los equipos de investigación y de ingeniería trabajan en ello en varios países, con la perspectiva de que las primeras instalaciones entren en servicio al final del segundo decenio. Los proyectos más avanzados son los de Finlandia y Suecia, el proyecto de Yucca-Mountain en EE.UU. y el proyecto de almacenamiento en Francia. En todos los casos, como en muchos otros países, la perspectiva de almacenamiento de los residuos radiactivos de vida larga ha suscitado reacciones de oposición que conducen a plantearse nuevas reglas de gobernanza, sobre las que hablaremos más adelante.

Finalmente, los residuos del desmantelamiento, residuos de muy baja actividad, se almacenan en super-

ficie, también en instalaciones protegidas del agua. Francia y Suecia disponen de las primeras instalaciones y España ha puesto en servicio la suya, en El Cabril.

PUNTOS CLAVE DE LA GESTIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

La evolución en los procesos de decisión

La realización de instalaciones de almacenamiento de residuos radiactivos está lejos de ser una mera operación de carácter científico y técnico. Los primeros almacenamientos, se implantaron y construyeron aprovechando entornos favorables, muy cerca de las instalaciones nucleares. Es el caso del almacenamiento de residuos de baja y media actividad y vida corta.

No obstante, con una sensibilidad medioambiental creciente entre las poblaciones, los nuevos proyectos sólo ven la luz al finalizar un largo proceso de aprendizaje mutuo. Este proceso reviste diferentes formas según los países y las culturas, pero se traduce sistemáticamente en reglas de gobernanza dominadas por la concertación y la transparencia. Corresponde al gestor de residuos radiactivos que trata de implantar un centro de almacenamiento informar a los habitantes y consultar con ellos, así como con sus representantes, a través de las diferentes estructuras existentes o creadas para la ocasión. Entre las estructuras existentes, las administrativas (municipios, regiones, prefecturas), las cámaras de comercio, las asociaciones y los sindicatos desempeñan un papel de intermediación esencial. Puede crearse un comité específico en la mayor parte de los casos para garantizar la representación de las instancias locales ante los poderes públicos o los defensores del proyecto de almacenamiento de los residuos radiactivos. También corresponde al gestor conocer los territorios en los que prevee la implantación de sus instalaciones, con el fin de tener en cuenta los valores locales y poder tomar en consideración las peticiones explícitas, así como las necesidades implícitas de la población.

Este aprendizaje también afecta a la población y a sus representantes; es fácil comprender las reacciones de rechazo ante cualquier novedad, especialmente cuando se trata de instalaciones destinadas a contener productos considerados peligrosos. La perspectiva del almacenamiento sólo se puede plantear a partir del momento en que se ha alcanzado una comprensión suficiente, que permita el diálogo, el intercambio y, en su caso, la petición de garantías destinadas a mostrar que se adoptarán todas las disposiciones necesarias para garantizar la

seguridad de los habitantes y de su entorno. El proyecto de instalación de central de almacenamiento de residuos de actividad baja y media y vida corta en Bélgica se decidió en 2006 al finalizar un proceso de este tipo, lo que lleva incluso hasta una cierta incorporación del proyecto por parte de los representantes locales, inscribiéndolo en una lógica de cooperación local [9].

En el caso de proyectos de almacenamiento geológico de residuos de actividad media y alta y vida larga, han sido necesarios varios años de progresos para poder llegar a esquemas de concertación y decisión que ahora permiten plantear la realización de instalaciones adecuadas para un almacenamiento seguro de los residuos. Los esfuerzos de nuestras generaciones por almacenar estos residuos de forma segura y duradera responden a principios éticos que contemplan regularmente los especialistas en cuestiones sociales. El principio de responsabilidad es una de las bases de estos esfuerzos. Corresponde a la generación que ha disfrutado de la electricidad de origen nuclear hacer los esfuerzos necesarios para gestionar los residuos producidos, sin dejarlo a cargo de las generaciones siguientes. Los principios éticos han sido objeto de numerosas publicaciones y aparecen en la opinión colectiva publicada por el *Radioactive Waste Management Committee* en 1995 [10].

La complejidad del almacenamiento geológico

El almacenamiento geológico de los residuos tiene un principio sencillo. Pretende confinar los residuos a gran profundidad para poder aislarlos del hombre y de su entorno. Con el fin de mantener el aislamiento necesario a lo largo de escalas de tiempo coherentes con el larguísimo tiempo de vida de los residuos radiactivos de larga vida, se plantean profundidades relativamente importantes. Por supuesto, dependen de la naturaleza de las formaciones geológicas y de su aptitud para mantener el confinamiento, y pueden alcanzar varios centenares de metros de profundidad. También es indispensable, a lo largo de períodos de varias décadas, incluso centenas de miles de años, protegerse de las evoluciones geológicas, hidrogeológicas o geomorfológicas, cuyos efectos a muy largo plazo podrían traducirse en una emergencia de los residuos almacenados, por ejemplo tras la erosión del suelo.

El principio de almacenamiento geológico es sencillo, pero su aplicación es mucho más compleja por dos razones. La primera está relacionada precisamente con las grandes escalas de tiempo; la segunda con el aspecto pluridisciplinar de las pruebas de seguridad. Para el almacenamiento geológico de los

combustibles usados o de los residuos de alta actividad y vida larga, la seguridad se extiende hasta el millón de años. Para ser convincente, debe basarse en un conocimiento físico muy avanzado de los procesos que podrían producirse a lo largo del tiempo en el interior del centro de almacenamiento. Efectivamente, hay que ser capaz de disponer de un conocimiento suficiente del medio geológico y de los fenómenos que generará la presencia de estos residuos:

La mera apertura de la galería para permitir el acceso a la formación geológica supone una desaturación hídrica del medio. Tras el sellado de las obras, varias décadas más tarde, el medio se irá restaurando progresivamente en agua.

La excavación de galerías fragiliza la formación en las cercanías de las obras. Hay que procurar que esta fragilización no pueda perturbar los circuitos hidráulicos, comprometiendo las condiciones ulteriores de seguridad.

El almacenamiento de paquetes de residuos que emiten calor provocará una elevación de la temperatura en el entorno. Hay que esperar modificaciones del comportamiento hidráulico.

La introducción de materiales exógenos —aceros y hormigón para las instalaciones, paquetes de residuos con su contenido radiactivo— provoca interacciones químicas que es necesario describir, con el fin de poder tener en cuenta la evolución del comportamiento del centro de almacenamiento.

La demostración de seguridad apela a numerosas disciplinas científicas, alrededor de las geociencias, de la física nuclear, pero también a muchas técnicas de ingeniería, modalidades de vigilancia, de ingeniería minera, de ingeniería nuclear.

La complejidad de este tipo de proyectos también se debe al número elevado de actores implicados. Proyectos de este tipo no pueden progresar si no cuentan con un apoyo político fuerte de los Estados. En numerosos casos, el Parlamento o el Gobierno aporta apoyo nacional. Además, es necesario poder convencer a muchas otras comunidades: la comunidad científica, las asociaciones de protección del medio ambiente, las autoridades de seguridad y, por supuesto, el conjunto de los actores locales mencionados anteriormente, los representantes políticos locales, las asociaciones locales, las instancias económicas y sindicales locales, así como la población que deberá recibir el centro de almacenamiento geológico en su territorio.

El tema puede parecer a priori ingrato o muy técnico, pero tiene como característica desatar pasiones

desde el momento en que empieza a llamar la atención. Para avanzar en una cuestión de este tipo, la única respuesta es la del aprendizaje mutuo que citamos más arriba, que sólo se puede concebir a través de una perspectiva progresiva y por etapas. Hay que tomarse tiempo para debatir, presentar opciones, valorarlas, hacer que los poderes públicos tomen las decisiones por etapas y escuchen todo lo necesario a la población local.

Por suerte, las reflexiones evolucionan y los conocimientos avanzan muy deprisa después de unos treinta años de investigación sobre el almacenamiento geológico. Las respuestas aportadas a las inquietudes de ayer han permitido convencer de que el principio de almacenamiento geológico es actualmente una referencia de ámbito mundial y se considera la solución de referencia en los principales programas nacionales.

Se ha dado un nuevo impulso recientemente en varios países, gracias a la implicación comprometida de los poderes políticos. Se han observado progresos visibles en algunos grandes países como Estados Unidos, Francia, el Reino Unido, Canadá y Alemania. En Canadá y en el Reino Unido, la reanudación de un debate nacional ha llevado a la elaboración de políticas que favorezcan la concertación para la búsqueda y la implantación de centros de almacenamiento geológico. En Alemania, tras varios años sin decisiones, y un procedimiento que ha durado más de veinte años, por fin se han superado los últimos obstáculos para la entrada en servicio del centro de almacenamiento geológico de KONRAD. En este caso se trata de un centro de almacenamiento de residuos de baja y media actividad, no exotérmicos.

ALGUNAS OBSERVACIONES CLAVE †

Previamente a cualquier estudio o decisión, es necesario insistir en la necesidad de disponer de un buen conocimiento de los residuos radiactivos. Este conocimiento comienza con la realización de inventarios cuantitativos en cada país. Este inventario puede, como en Francia o en España, por ejemplo, completarse con un plan que indique las soluciones aplicadas para cada categoría de residuos radiactivos. De no ser así, los estudios realizados para buscar soluciones, con los plazos asociados, no permiten tranquilizar al público sobre la correcta gestión del conjunto de los residuos presentes o futuros.

Entre las soluciones existentes, conviene recordar ante todo que el almacenamiento o depósito temporal de residuos radiactivos, al que se suele dar mucha importancia, sólo representa una solución temporal. Los especialistas de la gestión de residuos radiactivos diferencian la noción de almacenamiento para solu-

ciones definitivas y el almacenamiento para soluciones transitorias. Este último existe y es seguro. Hasta la fecha, todos los combustibles usados y los residuos radiactivos de alta actividad y vida larga se almacenan en lugares seguros, en sus zonas de producción en general.

No obstante, el almacenamiento no puede constituir en modo alguno una solución definitiva. En general, las instalaciones de almacenamiento tienen un tiempo de vida del orden de un siglo. Para poder seguir realizando sus funciones, puede ser necesario reconstruirlas. Los residuos también deben reacondicionarse. Por lo tanto, el almacenamiento no permite responder a las necesidades de la gestión a largo plazo de estos residuos que, como hemos visto antes, descansan en la pasividad en plazos de tiempo muy largos.

Se están estudiando otras soluciones para avanzar sobre la problemática de gestión de los residuos radiactivos. La investigación sobre la separación y la transmutación de los actínidos menores prosigue en el seno de varios programas nacionales, como en Francia. No obstante, tras 15 años de trabajo, se ha llegado a la conclusión de que las operaciones de separación y de transmutación podían no plantearse razonablemente para residuos ya producidos o para los residuos en curso de producción.

Por otra parte, era necesario plantearse estas operaciones dentro del marco de la minimización de la producción de residuos a partir de ciclos de producción electronuclear. Actualmente se plantean en relación con los trabajos de investigación sobre los reactores del futuro dentro del marco del programa de cuarta generación. En cualquier caso, incluso para los ciclos del futuro, el almacenamiento en formación geológica profunda seguirá siendo necesario para la fracción de productos no recuperables, productos de fisión y productos de activación, principalmente.

Las investigaciones y estudios realizados en diferentes países del mundo han demostrado que en la actualidad el almacenamiento geológico de los residuos radiactivos es técnicamente viable. Varios países lo han demostrado y han producido informes de seguridad para diferentes rocas que pudieran albergarlos. Algunos países trabajan con roca volcánica, como en Estados Unidos, otros en sal (Alemania), otros en granito (Finlandia y Suecia) y otros en arcilla (Bélgica, Francia, Suiza). La viabilidad desde el punto de vista de la seguridad y de la técnica de un dispositivo de almacenamiento geológico de este tipo ha sido demostrada en varios países y los proyectos han dado lugar a numerosas revisiones, como las realizadas bajo los auspicios de la Agencia para la Energía Nuclear, en Bélgica, en Estados Unidos [11], en Francia [12] y en Suiza para las últimas.

Los trabajos sobre los proyectos de almacenamiento geológico se basan en los conocimientos adquiridos y confirmados, especialmente en el ámbito internacional. Podemos citar las reflexiones de carácter fundamental y prospectivo de la Agencia para la Energía Nuclear, así como los trabajos de la Agencia Internacional de la Energía Atómica, cuyos documentos hemos citado más arriba. A las normas publicadas por la AIEA, podemos sumar los que existen en materia de radio protección publicadas por la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones.

Ya hemos subrayado el consenso general a favor del almacenamiento geológico. Se trata de una buena opción, en la medida en que los responsables se hayan tomado el tiempo necesario para hacer participar a la sociedad civil y al mundo político en las decisiones principales. En esta fase podemos subrayar que el problema de la gestión correcta de los residuos radiactivos se puede plantear independientemente de las opciones energéticas futuras, ya que existen cantidades significativas y que en todo caso será necesaria alguna solución. No obstante, en cualquier debate de política energética nacional, debe tratarse el problema de los residuos radiactivos y el del desmantelamiento de las instalaciones nucleares, pues es un debate abierto. Es importante recordar que las soluciones están disponibles o bien las investigaciones y estudios realizados han proclamado su viabilidad.

En materia de desmantelamiento, las perspectivas también evolucionan. En una primera fase, varios países optaron por esperar, con el fin de aprovechar el decrecimiento de la radiactividad. Actualmente, observamos una evolución de esta posición y algunos países deciden, especialmente para disfrutar de los conocimientos y la experiencia de los operadores que trabajaron en los centros, desmantelarlos poco tiempo después de la clausura de las instalaciones. En materia de seguridad, se plantean muchas cuestiones sobre las transiciones entre el marco de seguridad de un reactor en funcionamiento y el de la seguridad del desmantelamiento. Los contextos son muy diferentes. Está claro también actualmente para todo el mundo que el desmantelamiento no debe estudiarse y determinarse en el momento en que se clausure la instalación. Las experiencias de desmantelamiento ya realizadas lo muestran: el desmantelamiento de las instalaciones debe tomarse en consideración desde el punto de vista técnico previamente a la construcción, desde el diseño de las instalaciones.

Los aspectos sociales también están presentes en el caso del desmantelamiento. Por ejemplo, el decreto de desmantelamiento de una de las primeras instalaciones nucleares de EDF Brennilis (Francia) fue

anulado a raíz de la reacción de una asociación antinuclear. Incluso en cuestiones de desmantelamiento, para las que se podría pensar que están bien consideradas por las asociaciones de protección del medio ambiente, es importante tener en cuenta la consulta a la población.

TRABAJOS Y CONTRIBUCIONES DE LA AEN

En materia de gestión de los residuos radiactivos, la Agencia para la Energía Nuclear interviene desde hace muchos años a través del Radioactive Waste Management Committee (RWMC). Con ocasión de su última reorganización, en 2000, se han creado tres grupos principales:

Forum on Stakeholder Confidence (FSC) que tiene vocación de trabajar sobre la cuestión de la creación de la confianza con las partes implicadas. Este foro actualmente es una referencia, por sus trabajos con el mundo académico y con el mundo político. Organiza sus sesiones alternativamente sobre cuestiones de fondo que interesen a los implicados y sobre casos concretos, dentro del marco de talleres celebrados cerca de un centro de almacenamiento, futuro o existente. Entre las cuestiones tratadas por el FSC, podemos citar los excelentes informes sobre la comunicación y la información [13], o también el informe sobre la revisión de los valores añadidos que puede esperar una comunidad de la proximidad de una instalación de almacenamiento [14]. Se puede acceder directamente a todos los estudios desde la página web de la AEN <http://www.nea.fr/>. El FSC, mediante la organización de talleres locales, ha permitido establecer o reforzar la relación entre los portadores de proyectos de almacenamiento o de depósito, como es el caso de España, y las comunidades locales.

Integrated Group for the Safety Case (IGSC) se ha creado principalmente para compartir los puntos de vista y las reflexiones sobre los enfoques de la seguridad, incorporando las diferentes reflexiones científicas y técnicas a las evaluaciones de seguridad realizadas para los diferentes proyectos de almacenamiento. Uno de los retos importantes en este ámbito se refiere a la demostración de seguridad a largo plazo, coherente con las escalas de tiempo de la radiactividad presente en los residuos. Dentro del marco de la IGSC se desarrolló el concepto de *Safety Case*. No sólo cubre la demostración de la seguridad, sino también el conjunto de los argumentos sobre los que se basa. Las agencias que trabajan sobre estos temas producen regularmente informes de estudios de seguridad del almacenamiento, que presentan un estado de los conocimientos y ofrecen las primeras demostraciones de seguridad. Estos informes son a menudo objeto de evaluaciones y revisiones por sus

miembros, bajo el control de la AEN [11] [12]. Son muy esperados por las diferentes agencias del mundo, ya que, en general, permiten tener acceso a todos los conocimientos nuevos.

Working Parties on Decommissioning and Dismantling (WPDD) constituye un lugar de intercambio de experiencias y reflexiones compartidas sobre las modalidades, las prácticas, las enseñanzas y el marco reglamentario relacionado con el desmantelamiento.

El RWMC, además de los mandatos que da a estos grupos y el seguimiento que realiza, tiene también sus propios proyectos. Ha realizado trabajos sobre ética [10], pero también recomendaciones y tomas de posición sobre el almacenamiento de residuos radiactivos. Entre sus preocupaciones están actualmente el tema de la gestión de los conocimientos y el de la reversibilidad.

La capitalización y la valorización de la información acumulada en el tiempo, los progresos realizados en el conocimiento de una generación a otra son temas de importancia capital para proyectos de almacenamiento geológico, cuyas constantes de tiempo entre la investigación, el diseño, la construcción, la explotación y el cierre se extienden a lo largo de más de un siglo. Es una cuestión que se plantea también para las instalaciones de superficie, para los residuos de actividad baja y media, simplemente para seguir transmitiendo la «memoria». Es una cuestión de interés en todos los países que el RWMC ha decidido tratar en un primer momento en su seno, para su propia producción documental.

Varios países han elegido la opción política de avanzar sobre la cuestión del almacenamiento geológico, insistiendo a un tiempo en la necesidad de trabajar en un almacenamiento reversible. La cuestión de la reversibilidad, planteada en la ley de 1991 en Francia, está de nuevo de actualidad con la ley de programa de 28 de junio de 2006 [15]. La reversibilidad ofrece la posibilidad de modificar una decisión en caso de que nuevos elementos cuestionen las decisiones tomadas. Es en cierta forma una garantía que se da a la sociedad de poder recuperar los residuos en el caso de que se observe un fallo en el comportamiento del almacenamiento geológico. Frente a esta cuestión fundamental, ha parecido importante a las agencias compartir el estado de las reflexiones en el ámbito internacional y precisar en un documento común, preparado dentro del marco del RWMC, las diferentes interpretaciones del concepto de reversibilidad y de recuperabilidad de los residuos, así como las modalidades prácticas posibles y sus límites.

Entre los temas que seguirán marcando realmente los trabajos del RWMC, cabe destacar los estudios de en-

foques de seguridad a largo plazo. Hay varios países actualmente en fase de preparación de su petición de autorización de creación de un almacenamiento: Estados Unidos, Suecia Francia. Cuanto más se acerca el momento de presentar los expedientes, más precisas y agudas pasan a ser las cuestiones, lo que implica una necesidad de intercambio de alto nivel entre los organismos responsables del almacenamiento de residuos radiactivos en los diferentes países. Esta calidad en la comunicación también es necesaria entre las diferentes autoridades que deben instruir los expedientes, y en particular las autoridades de seguridad. Es la razón por la cual las autoridades de seguridad también incluyen trabajos e intercambios específicos dentro del marco del Regulators Forum, creado en el seno del RWMC.

El RWMC desarrolla programas útiles para los Estados miembros, en los aspectos técnicos, reglamentarios, sociales y políticos. Incluye especialistas de diferentes disciplinas y ha adquirido un nivel internacionalmente reconocida, pues sabe hacer evolucionar su organización para dar mejor respuesta a las diferentes demandas.

CONCLUSIÓN

Los residuos radiactivos existen y se imponen medidas de seguridad, independientemente de las opciones energéticas futuras. En la mayor parte de los países hay soluciones disponibles para los residuos de explotación de la industria nuclear, o bien se están poniendo en marcha progresivamente. Se trata principalmente de residuos radiactivos de baja y media actividad y vida corta. Los residuos procedentes de las actividades de investigación o de las actividades médicas se almacenan en las mismas condiciones que los residuos de explotación de las centrales nucleares, en algunos casos, como en España o en Francia, en sus mismas instalaciones.

También en España o en Francia, los residuos de muy baja actividad, los procedentes de operaciones de desmantelamiento de equipos nucleares, se almacenan en instalaciones especiales que son un modelo para numerosos países que están pensando en dotarse de instalaciones similares.

Los retos del próximo decenio están vinculados sobre todo al almacenamiento de combustibles usados y residuos de actividad media y alta y vida larga. La opción del almacenamiento geológico se considera actualmente la solución de referencia. Varios países han programado la puesta en servicio de su almacenamiento geológico a finales del próximo decenio. Los retos científicos se centran básicamente en la calidad de la demostración de seguridad a muy largo

plazo. En función de los países se plantean distintos tipos de formaciones geológicas. Los conceptos propuestos hasta la fecha están adaptados de forma específica a las características de las rocas y de los lugares correspondientes. Han permitido declarar la viabilidad de las instalaciones y su demostración de seguridad.

Finalmente, los retos relacionados con la complejidad científica, técnica y sociopolítica de los almacenamientos de residuos radiactivos cuentan con una excelente cooperación internacional, especialmente gracias a los esfuerzos de la AEN.

NOTAS Y REFERENCIAS

- [1] London Convention 1972, Convention on the Prevention of Marine Pollution by Dumping of Wastes and Other Matter, 1972 and 1996 Protocol Thereto, INTERNATIONAL MARITIME ORGANIZATION
- [2] Joint Statement on the Global Nuclear Energy Partnership and Nuclear Energy Cooperation, Washington, D.C., May 21, 2007, http://www.gnep.energy.gov/pdfs/GNEP_Joint_Statement.pdf
- [3] Power Reactor Information System, International Atomic Energy Agency, <http://www.iaea.org/programmes/a2/index.html>
- [4] NEWMDB, Nuclear Waste Data Management, International Atomic Energy Agency, <http://www-newmdb.iaea.org/>
- [5] Inventaire national des déchets radioactifs et des matières valorisables, ANDRA, Edition 2006, http://www.andra.fr/interne.php3?id_article=551&id_rubrique=156
- [6] Classification of Radioactive Waste, DS390, Draft Version, Sept. 2006, Safety Standards Series, International Atomic Energy Agency
- [7] Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Residuos Radiactivos, ESPAÑA, Segundo Informe Nacional, Octubre 2005 http://www.mityc.es/NR/rdonlyres/D8FDD9F0-8E30-4E5A-87BB-D70D76BFDD70/ConvencionInforme2_esp.pdf
- [8] Technical Appraisal of the Current Situation in the Field of Radioactive Waste Management. A Collective Opinion by the Radioactive Waste Management Committee, OECD/NEA, Paris, 1985 http://www.neras.be/francais/PDF/Fiche_1_F.pdf, <http://www.stola.be/>
- [10] The Environmental and Ethical Basis of the Geological Disposal of Long-lived Radioactive Waste, Collective Opinion of the Radioactive Waste Management Committee, NEA/OECD, Paris, 1995.
- [11] An International Peer Review of the Yucca Mountain Project TSPA-SR, Total System Performance Assessment for the Site Recommendation (TSPA-SR), International Atomic Energy Agency, Nuclear Energy Agency, NEA/OECD, 2002.
- [12] Safety of geologic disposal of high-level and long-lived radioactive waste in France, An International Peer Review of the «Dossier 2005 Argile» concerning Disposal in the Callovo-Oxfordian Formation, NEA/OECD, Paris 2006.
- [13] Public Information, Consultation and Involvement in Radioactive Waste Management. An International Overview of Approaches and Experiences, NEA/OECD, 2003.
- [14] Fostering a Durable Relationship Between a Waste Management Facility and its Host Community. Adding Value Through Design and Process, NEA/OECD n°6176, 2007.
- [15] Loi du 28 juin 2006 de programme relative à la gestion des matières et des déchets radioactifs, www.andra.fr

