

PANORAMA Y TENDENCIAS INTERNACIONALES EN LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO

E. GARCÍA - A. RODRÍGUEZ

La gestión segura del combustible gastado es una problemática que está siendo abordada con éxito en los diferentes países con centrales nucleares. Las soluciones técnicas hoy en uso permiten la elección entre múltiples opciones que son capaces de responder a las necesidades planteadas para cada una de los casos particulares. Este hecho ha hecho posible la adopción de propuestas técnicas complementarias dentro de estrategias nacionales.

El presente artículo pretende hacer una breve puesta al día de las opciones estratégicas y de los desarrollos técnicos asociados a aquéllas, presentando en cada caso las instalaciones que han llegado a ser referencias internacionales para desarrollos posteriores.

The safe spent fuel management is a problem that is being faced successfully in the countries with NPP's. The technical solutions already in force permit to choose among several options that are able to response the existing needs in each particular case. This fact has made feasible to adopt complementary technical options into the national strategies.

This article tries to show a brief current overview of the different strategical options and the technical developments associated to those, describing in each case the facilities that have become international references for further developments.

GENERACIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO

En 1999, cerca de 10.000 toneladas de combustible gastado fueron descargadas, producidas por el parque de centrales nucleares y reactores de investigación en operación en el mundo, después de haber sido usado para generar electricidad, en el primer caso, y para producir radioisótopos y realizar experimentaciones, en el segundo.

Según la "Convención sobre la seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos", auspiciada por la Agencia Internacional de la Energía Atómica (AIEA), se en-

tiende por combustible gastado el combustible irradiado y extraído permanentemente del núcleo de un reactor. Este combustible gastado es, entonces, "gestionado", concepto este que incluye todas las actividades que se relacionan con la manipulación o almacenamiento de éste material mediante el uso de instalaciones especialmente diseñadas para este propósito, guardado temporalmente y controlado hasta su recuperación posterior, bien para ser reprocesado o para ser evacuado en un repositorio.

Hasta finales de 1999, fruto de la operación de los reactores comerciales desde la década de los años cincuenta, se han generado un total 220.000 toneladas de combustible gastado, de las cuales 75.000 toneladas han sido reprocesadas. Esto supone que unas 145.000 toneladas están almacenadas en los propios reactores o en instalaciones auxiliares construidas para este propósito. La previsión de la AIEA estima que, considerando una producción de 30 toneladas/año de combustible gastado por cada 1.000 MWe producidos, la cantidad acumulada hasta el año 2010 será superior a 340.000 toneladas, de las cuales 110.000 habrán sido reprocesadas y 230.000 almacenadas. A nivel mundial, existe un superávit de capacidad de almacenamiento que se sitúa entorno a las 100.000 toneladas y los planes de construcción de nuevas instalaciones podrían mantener este margen de maniobra durante las próximas décadas. Sin embargo, en

algunos emplazamientos es necesaria la construcción de instalaciones adicionales.

Además, existe un parque de más de 550 reactores experimentales en operación o clausurados en el mundo. De estos, al menos el 60% de los reactores tienen más de 30 años; otro 20% tiene entre 20 y 30 años. Entre todos, han generado aproximadamente 63.000 elementos combustibles gastados que están siendo almacenados y otros 23.000 que permanecen en los reactores. Del total almacenado, 46.000 lo están en países industrializados y los 17.000 restantes en países en vía de desarrollo. Un total próximo a los 23.000 serán reexportados a USA, como país origen de la tecnología, mediante contratos de retorno. La mayor parte del combustible gastado restante fue elaborado en la antigua Unión Soviética o más recientemente en la Federación Rusa. Las negociaciones continúan abiertas a la búsqueda de una solución final sobre su almacenamiento.

Con todo ello, el mayor reto asociado a la gestión del combustible gastado no radica en su cantidad. Baste considerar que, tomando como referencia las producciones anuales de España, se generan aproximadamente 160 toneladas de este material, cifra esta que se antoja irrelevante al compararse con las 400.000 de residuos tóxicos y peligrosos o las 3.500.000 de residuos industriales.

Enfoques a la Gestión del Combustible Gastado

País	Decisión Diferida	Disposición	Reprocesado
Alemania		■	■
Argentina	■		
Bélgica	■		■
Brasil	■		
Bulgaria	■		■
Canadá		■	
China			■
Corea	■		
EE.UU		■	
Eslovaquia		■	■
Eslovenia	■		
España	■		
Fed. Rusa		■	■
Finlandia		■	
Francia			■
Gran Bretaña			■
Holanda			■
Hungría	■		■
India			■
Italia	■		■
Japón			■
Lituania		■	
México	■		
Pakistán	■		
República Checa	■	■	■
Rumanía		■	
Sudáfrica		■	
Suecia		■	
Suiza	■		■
Ucrania	■	■	■

OPCIONES EN LA GESTIÓN DEL COMBUSTIBLE GASTADO

La gestión del combustible gastado abarca un conjunto integrado de operaciones técnicas. Estas se inician con la descarga de los elementos combustibles quemados del reactor, que pasan a ser almacenados para su enfriamiento y reducción de su actividad mediante el decaimiento de los isótopos de vida corta, y terminan o con su disposición directa, a lo que se denomina "ciclo abierto", o bien con su reprocesado para la elaboración de combustible reciclado y la disposición final de los residuos asociados a este tratamiento, fundamentalmente, en forma de vitrificados, a lo que se denomina "ciclo cerrado".

Las tecnologías de reprocesado separan el plutonio y uranio de los residuos para su uso como combustible reciclado en reactores de los productos de fisión y otros actínidos. Originariamente, la intención tras el concepto del ciclo cerrado del combustible fue reciclar el plutonio y uranio separándolos en reactores reproductores rápidos. Sin embargo, atrasos y cancelaciones en los programas de diseño de este tipo de reactores han conducido a que el reci-

clado de los materiales fisiles separables se realice en reactores térmicos ya operativos. Actualmente, el reciclado del plutonio en reactores térmicos (como óxido mixto o combustible MOX) está siendo llevado a cabo en Bélgica, Francia, Alemania, Japón y Suiza. El reciclado del uranio se realiza, entre otros, en la Federación Rusa, Francia y Suiza.

Una tercera opción para la gestión del combustible gastado es diferir las decisiones a futuro, lo que exige un almacenamiento intermedio. Los retrasos en el desarrollo de la opción del reprocesado del combustible gas-

tado en algunos países, el completo abandono de esta opción en otros y el retraso en la disponibilidad de una instalación de disposición en la mayoría de los casos, han abocado a la necesidad de incrementar los periodos de tiempo de almacenamiento intermedio del combustible gastado. Este enfoque permite a los operadores controlar permanentemente el combustible gastado y recuperarlo posteriormente para bien, su disposición definitiva o su reprocesado. La mayoría de los países con programas nucleares siguen esta opción. En consecuencia, en los próximos años, está previsto el almacenamiento intermedio de grandes cantidades de combustible gastado durante largos periodos de tiempo.

La selección de una estrategia para el combustible gastado es una decisión compleja en la que deben tenerse en consideración factores que incluyen aspectos políticos, económicos, salvaguardas y protección medioambiental. Una cuestión común a todos estos países, independientemente de la estrategia que apliquen, es la creciente necesidad para disponer de capacidad adicional de almacenamiento.

ALMACENAMIENTO INTERMEDIO DEL COMBUSTIBLE GASTADO

El almacenamiento intermedio del combustible gastado, ya sea durante corto o largo periodo de tiempo y ya se trate de instalaciones situadas dentro del emplazamiento de los reactores o en las plantas de reprocesado, conocidas como AR (at reactor), o fuera de unas o de otras, AFR (away from reactor), tienen que cumplir unas mismas funciones, que son enumeradas a continuación:

- Mantener una configuración subcrítica.
- Facilitar la disipación de calor.
- Proporcionar el blindaje adecuado frente a la radiación.
- Garantizar la integridad de los elementos combustibles.

En la mayoría de las centrales nucleares y por motivos que pasan desde la prórroga de la vida útil del reactor, con respecto a las previsiones iniciales de diseño, hasta la imposibilidad de disponer de soluciones definitivas, se ha hecho necesario establecer un programa de almacenamiento intermedio. Para ello se ha tenido en cuenta, básicamente, las capacidades de las piscinas existentes en cada caso para establecer las fechas de saturación de acuerdo con los ciclos de operación de cada central, la vida de servicio esperada de las centrales, los programas de desmantelamiento de las centrales, tanto en cuanto a fechas como opción elegida para la ejecución de los trabajos, y la estrategia general respecto a la gestión a largo plazo.

El almacenamiento del combustible gastado por cortos periodos de tiempo, desde meses a 5 ó 10 años, en el reactor o en planta de reprocesado tiene lugar en piscinas, mientras que el almacenamiento por periodos de tiempo de entre 20 y 50 años puede tener lugar en húmedo o en seco, si bien en los últimos años se ha desarrollado un gran interés internacional por esta última tecnología.

La adopción para las estrategias a medio plazo de uno u otro método está sujeta, en primer término, a consideraciones económicas y de disponibilidad.



Piscina de CLAB.

ALMACENAMIENTO EN HÚMEDO

La descarga del combustible gastado pasa por su transferencia desde el reactor a la piscina de éste, donde aquel permanecerá en condiciones idóneas de seguridad durante periodos que varían en función de las propias características de los elementos combustibles y la estrategia final elegida en cada caso.

El almacenamiento en húmedo es el medio más común para almacenar en las centrales y en las plantas de reprocesado.

El almacenamiento de elementos combustibles en piscinas es práctica común en los últimos 40 años. Esta es la solución natural teniendo en cuenta que los combustibles utilizados han sido diseñados para permanecer sumergidos durante largos periodos de tiempo sin deteriorarse y produciendo el necesario enfriamiento después de su descarga. En estas piscinas, el agua desmineralizada rodea a los elementos constituyendo el ambiente adecuado para los mismos debido a sus propiedades de conductividad térmicas, absorción neutrónica y blindaje contra la radiación gamma.

Las piscinas se han utilizado universalmente como almacén inicial de los elementos descargados del reactor, pero actualmente están siendo utilizadas como almacén temporal, modificando y prolongando su objetivo inicial.

En base a los criterios existentes en los años 70, las piscinas se diseñaron como almacenes temporales de corta duración y en consecuencia, los racks o bastidores, estaban ampliamente separados entre ellos y sólo partes de la piscina eran utilizadas para este fin. Como consecuencia de las nuevas necesidades, se hizo necesario el rediseño de la disposición de los bastidores, gracias a optimización de varios factores, sintetizados en la incorporación de

venenos neutrónicos, la aceptación del concepto de crédito al quemado, la evolución de los programas de cálculo en los aspectos estructurales, termohidráulica y criticidad, la evolución en el conocimiento de los materiales y la optimización de técnicas de fabricación.

La valorización de estos factores ha permitido sustituir los bastidores originales por otros, denominados de alta densidad, que, con carácter general, permiten aumentar sustancialmente la capacidad de almacenamiento de las piscinas.

La adopción de esta tecnología es universal, permitiendo en todos los casos aliviar los problemas de saturación y ofreciendo soluciones ad hoc según las necesidades de cada caso.

Se aplica a necesidades individuales de plantas que amplían su capacidad de almacenamiento para la producción de varios años, habiendo casos, como en las plantas de Eslovenia y Sudáfrica, donde esta tecnología permitirá almacenar todo el combustible gastado generado durante su vida operativa. Además, existen algunos casos en los que el propio diseño de la piscina ha permitido la disposición de dos tandas de bastidores en piscinas suficientemente profundas, como a modo de ejemplo son las plantas de La Crosse y Yankee Rowe, en USA, y otros, en los que la construcción de nuevas piscinas permitirán almacenar todo el combustible gastado generado durante la vida operativa de la central, como se está haciendo

en Finlandia en la instalación construida anexa a las dos unidades BWR de Olkiluoto con su capacidad para 1.270 t U.

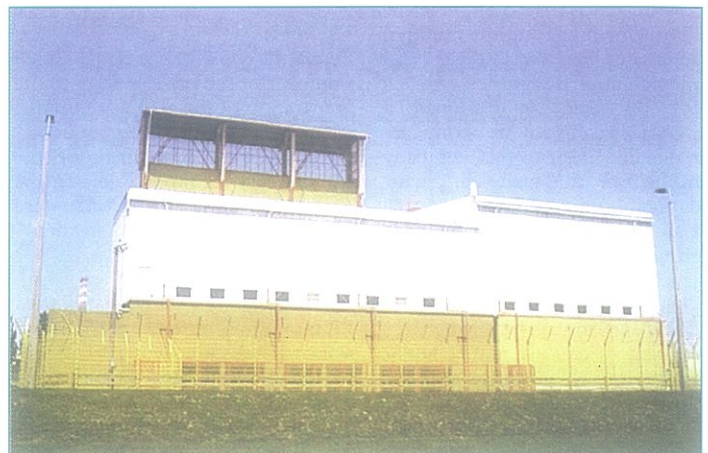
Existen algunos ejemplos de aplicación de esta técnica a necesidades de conjunto mediante la construcción de instalaciones de almacenamiento intermedio centralizado. En Suecia, la construcción de la planta de almacenamiento de tipo AFR denominada CLAB, en Orkarsham, en operación desde 1985, responde a esta tipología. Consta de cuatro piscinas, con una capacidad inicial de 5.000 toneladas de combustible gastado, que se encuentran alojadas en una caverna excavada a 30 metros bajo el nivel de la superficie. Las piscinas existentes de mayor tamaño son las instalaciones AFR, dentro del proceso de reprocesado, de La Hague, en Francia, Sellafield, en Gran Bretaña, y Rokkasho Mura, en Japón, con una capacidades de 3.000 a 14.000 toneladas.

ALMACENAMIENTO EN SECO

La tecnología de almacenamiento en seco de combustible gastado ha sido desarrollada a escala industrial en los últimos años, contando ya con una experiencia suficientemente contrastada.

Actualmente, la mayoría de las estrategias consideran preferentemente las técnicas en seco para el almacenamiento a largo plazo, por ser una opción intrínsecamente pasiva y con bajos costes de operación.

La opción en seco puede ser también más operativa para el acondicionamiento previo a la disposición. Las tendencias señalan hacia un incremento futuro del almacenamiento en seco como solución intermedia entre la descarga en la piscina del reactor y



Bóveda de Paks.



Contenedor metálico CASTOR.

las fases siguientes en la gestión. La generación actual de plantas de reprocesado puede ser la excepción a esta tendencia, a estar basado su diseño en el almacenamiento intermedio en piscina.

Este tipo de almacenamiento complementa las capacidades disponibles en las piscinas mediante la construcción de instalaciones específicas, bien en los propios emplazamientos de las

centrales y plantas de reprocesado, en este caso con un objetivo individual, o bien fuera de ellas, pudiendo tener un carácter centralizado.

La tecnología permite el uso de dos modelos conceptuales diferentes, que son los silos o bóvedas y los contenedores.

El concepto de almacenamiento en silos o bóvedas puede desarrollarse sobre o bajo la superficie. Generalmente, se aplica el término silo a estructuras enterradas con ventilación natural y el nombre de bóvedas, también denominadas cámaras o módulos, a estructuras sobre la superficie.

Los diseños se basan en un sistema multibarrera de seguridad frente a la radiación de carácter pasivo. Las estructuras consisten en cubículos de hormigón con cavidades de almacenamiento, cada una de las cuales puede almacenar varios elementos combustibles, generalmente alojados en cápsulas metálicas. Las tapas que permiten el acceso a los elementos también están selladas. El blindaje lo proporciona la propia estructura de hormigón y las tapas.

Este tipo de almacenamiento es utilizado, fundamentalmente, en caso de grandes necesidades de capacidad de almacenamiento.

Las instalaciones de este tipo están repartidas a lo largo de todo el mundo, aplicadas a diferentes tipos de combustible. La primera instalación en operar con este tipo de tecnología fue Wylfa, en Gran Bretaña, en 1969. A modo de ejemplo, en Canadá se han desarrollado dos sistemas modulares de tipo bóveda, en función del tipo de reactor utilizado. Caso semejante es, en EE.UU., la instalación de Fort St. Vrain que entró en operación en 1991. Esta solución ha sido después aplicada en la central de Paks, en Hungría, donde fue puesta en operación en 1997 una instalación de la que recibió 57 toneladas de combustible gastado durante su primer año de operación.

En el caso de almacenamiento en contenedores, el blindaje y el confinamiento de la actividad radica en los propios materiales estructurales de éstos, que puede ser de hormigón o metálicos.

Este sistema permite ampliar la capacidad de almacenamiento de los reactores según necesidad en el tiempo. Los contenedores llenos pueden situarse a la intemperie o también en naves.

Almacenamiento Intermedio de Combustible Gastado y RAA en los Países de la OCDE

País	Ciclo	ALMAC. TEMPORAL C.G.			ALMAC. TEMPORAL RAA		
		Instalación	Tipo	Situación	Instalación	Tipo	Situación
Alemania	C+A	GORLEBEN AHAUS GREIFSWALD	SECO SECO PISCINA	OPERACIÓN OPERACIÓN OPERACIÓN	GORLEBEN	SECO	OPERACIÓN
Bélgica	C				DESSEL	SECO	OPERACIÓN
Canadá	A	BRUCE PICKERING DARLINGTON	SECO SECO SECO	OPERACIÓN OPERACIÓN OPERACIÓN			
España	A	ATC	SECO	PREVISTO			
Estados Unidos	A	MRS	SECO	PREVISTO			
Finlandia	A	KPAOLKILUOTO	PISCINA	OPERACIÓN			
Francia	C	LA HAGUE CADARACHE MARCOULE	PISCINA SECO PISCINA	OPERACIÓN OPERACIÓN OPERACIÓN	LA HAGUE MARCOULE	SECO SECO	OPERACIÓN OPERACIÓN
Holanda	C				BORSELE	SECO	CONSTRUCC.
Japón	C	ROKKASHO	PISCINA	CONSTRUCC.	ROKKASHO	SECO	OPERACIÓN
Reino Unido	C	SELLAFIELD DOUNREAY WYLFA	PISCINA PISCINA SECO	OPERACIÓN OPERACIÓN OPERACIÓN	SELLAFIELD	SECO	OPERACIÓN
Suecia	A	CLAB	PISCINA	OPERACIÓN			
Suiza	C	ZWILAG	SECO	OPERACIÓN	ZWILAG	SECO	OPERACIÓN

Además de las diferencias en el material estructural, se distingue entre contenedores diseñados para almacenamiento, otros para doble uso, de transporte y almacenamiento, y los denominados multipropósito.

Los contenedores de hormigón han sido desarrollados inicialmente por Canadá para el almacenamiento de combustible gastado de los reactores tipo CANDU, existiendo unidades en operación en este país desde 1975. Otros modelos han sido desarrollados posteriormente para combustibles de otros tipo de centrales, siendo predominantemente utilizados en instalaciones de EE.UU. y Canadá.

El uso de contenedores metálicos es la solución que actualmente está teniendo un mejor acogida en Europa. Existen modelos licenciados en EE.UU., Alemania, Francia, Gran Bretaña y España, entre otros países.

Los contenedores alemanes de tipo CASTOR para doble uso están siendo utilizados para el almacenamiento de combustible gastado en las instalaciones alemanas de almacenamiento intermedio de Gorleben y Ahaus, con una capacidad respectiva de 3.800 y 4.200 toneladas.

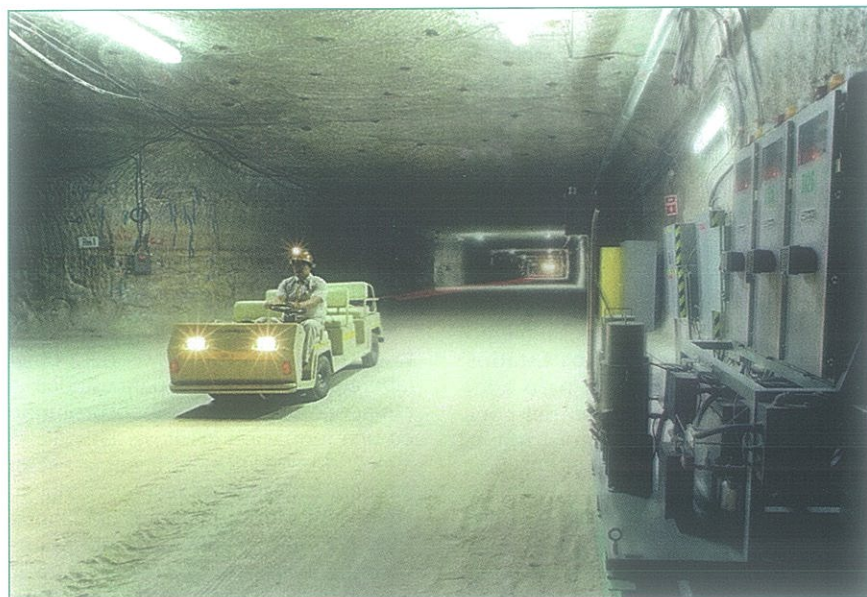
Los contenedores metálicos son utilizados en numerosas centrales norteamericanas como complemento individual de las capacidades de almacenamiento, como por ejemplo en la de Surry donde están emplazados en una plataforma a la intemperie.

SITUACIÓN DEL ALMACENAMIENTO INTERMEDIO EN LOS PAÍSES DE LA OCDE

Como ya se ha referido, el incremento de la capacidad individual de almacenamiento en las centrales nucleares mediante soluciones en húmedo es una práctica universal para la solución de esta problemática a corto plazo. Por el contrario, las soluciones adoptadas en cuanto a la gestión intermedia a medio plazo son singulares, incluso considerando los casos nacionales.

La panorámica de las soluciones adoptadas en los países de la OCDE puede considerarse representativa, tanto por la variada casuística existente como por la relevancia de su parque nuclear. *La OCDE acoge un total de 322 reactores comerciales, un 74,2% del total en operación en el mundo.*

Entre aquellos países que han optado por las instalaciones en húmedo,



Túnel de WIPP.

Suecia cuenta con una única instalación centralizada. Finlandia también tiene una instalación de este tipo, aunque en este caso sólo para las dos unidades de Olkiluoto. La estrategia francesa para el combustible gastado considera el ciclo cerrado. Para el almacenamiento intermedio cuenta con las instalaciones de recepción de la plantas de reprocesado.

Por otro lado, países como Bélgica y Holanda operan ya instalaciones en seco, en tanto que Estados Unidos y España consideran en sus planes la construcción de este tipo de instalaciones.

Finalmente, encontramos casos de modelos mixtos a nivel nacional, con instalaciones de tecnología en húmedo y otras de tecnología en seco, en buena medida por lo amplio de sus parques nucleares.

En Alemania, la instalación centralizada ARS en Greinsfeld tiene de una capacidad para almacenamiento en húmedo de 6.107 toneladas, que se suman a las instalaciones, ya mencionadas, de Ahaus y Gorleben de almacenamiento en seco. En Gran Bretaña, la mencionada instalación de Wylfa en seco es la excepción al almacenamiento en húmedo en las piscinas.

PROGRESOS HACIA EL LARGO PLAZO

Desde el punto de vista de la opinión pública, la cuestión más importante hoy es cuales son las alternativas para una solución en el muy largo plazo a la problemática de los residuos ra-

diactivos de alta actividad y a los de media y baja actividad de vida larga que no pueden ser dispuestos en superficie, que incluyen el combustible gastado del ciclo abierto y los productos originados durante el proceso de reprocesado del ciclo cerrado, sin mencionar los materiales, de características semejantes, generados por los programas de defensa.

Hasta la fecha, ningún diseño ha sido licenciado en ningún país para la disposición del combustible gastado y los residuos radiactivos de vida larga de origen comercial. La comunidad científica y técnica está de acuerdo mayoritariamente en que la evacuación puede llevarse a cabo en formaciones geológicas estables que no han sufrido cambios durante muchos cientos de millones de años, como domos salinos, batolitos graníticos o formaciones arcillosas, mediante la excavación de galerías situadas a varios cientos de metros bajo la superficie.

El uso de barreras múltiples, naturales y de ingeniería, así como el uso de contenedores metálicos que albergarían el residuo, rodeados por un material arcilloso absorbente, protegerían contra la intrusión humana y garantizarían a largo plazo el confinamiento de los elementos de vida corta hasta su decaimiento, limitando cualquier futura emisión de la restantes pequeñas cantidades de elementos de vida larga.

Si bien se enfatiza que el almacenamiento geológico es técnicamente seguro, la realidad es que la disposición geológica de residuos de alta actividad no ha sido aun llevada a cabo y esto intensifica la percepción pública sobre

la imposibilidad de su construcción y quizá sólo el licenciamiento y apertura de instalaciones de almacenamiento de este tipo sea la convincente demostración de que éste puede ser construido. En este sentido, el número de proyectos en desarrollo ilustra el progreso en esta vía al revisar el panorama internacional.

La apertura en marzo de 1999 de la Instalación Piloto para el Aislamiento de Residuos (WIPP), en los Estados Unidos, fue un importante paso adelante hacia la demostración del concepto de disposición geológica. Situado a unos 700 metros de profundidad en una formación salina, este ha sido el primer almacenamiento geológico certificado para el almacenamiento de residuos radiactivos de vida larga, principalmente residuos operacionales procedentes de los programas de defensa.

Casi todos los países con programas nucleares llevan a cabo estudios para el repositorio geológico y algunos de ellos tienen o están construyendo laboratorios subterráneos de investigación. No obstante, la apertura de repositorios de residuos civiles no se producirá probablemente antes de una década y esto sólo se llevará a cabo en unos pocos países.

En los Estados Unidos, además de los avances en WIPP, a mediados de 1999 fue presentado un informe preliminar sobre de la evaluación de la viabilidad de un repositorio en Yucca Mountain. Esta evaluación positiva completa una de las fases establecidas en el programa nacional para la construcción de un repositorio geológico para combustible gastado y residuos de vida larga que albergaría los residuos ahora almacenados en un total de 77 instalaciones. A finales del presente año, el Departamento de Energía presentará un informe sujeto a alegaciones del público, de la Junta de Revisión Técnica de Residuos Nucleares y de la Comisión Reguladora Nuclear.

El Secretario de la Energía presentará un informe final al Presidente de los EE.UU. en julio de 2001, estando prevista la decisión presidencial en enero de 2002. Si esta decisión fuera positiva, el Departamento de Energía solicitaría a la Comisión Reguladora Nuclear la correspondiente licencia de construcción con una entrada en operación prevista para el año 2010 y una capacidad de 70.000 toneladas de residuos de alta actividad.

En Finlandia, en 1999 Posiva Oy, la compañía responsable de la gestión del combustible gastado y residuos de alta

actividad, remitió al organismo regulador un informe de Evaluación del Impacto Ambiental sobre cada uno de los cuatro emplazamientos voluntariamente candidatos. Finalmente, se adoptó una decisión a favor del emplazamiento de Olkiluoto y durante el presente año se ha remitido al Parlamento una propuesta para la autorización preliminar.

El gobierno francés autorizó en agosto de 1999 la construcción del primer laboratorio subterráneo para estudiar el almacenamiento geológico profundo en una formación arcillosa. Durante el año 2000, ANDRA, la agencia nacional para la gestión de residuos radiactivos, ha iniciado los trabajos del laboratorio de Bure, en Meuse/Haute Marne y continua abierto el proceso para la autorización de un segundo laboratorio en una formación granítica.

El programa sueco prevé la construcción de un repositorio geológico a donde se transferirán los materiales almacenados temporalmente en la instalación CLAB. Seis municipios han mostrado su interés en optar a ser el futuro emplazamiento que albergue el repositorio nacional para residuos de alta actividad. Entretanto, continúan los trabajos de ingeniería que incluyen el diseño del contenedor de cobre y acero que confinará los materiales.

En el largo plazo, el almacenamiento controlado en superficie, la disposición geológica de carácter permanente o re-

cuperable y la necesidad de transmutar los radionucleidos de vida larga estarán todavía sujetas a discusión. Sin embargo, el estado del arte no muestra hoy otra posibilidad final sino la disposición geológica en formaciones estables.

REFERENCIAS

- Further analysis of extended storage of spent fuel, OIEA, 1997.
- Spent fuel management: current status and prospects, OIEA, 1997.
- Progress towards geologic disposal of radioactive waste: Where do we stand?, NEA/OCDE, 1999.
- Rising needs. Management of spent Fuel at Nuclear Power Plants, P.Dyck y Martin J. Crijns.
- Growing dimensions: Spent fuel management at research reactors, I.G. Ritchie.
- International status and trends for Spent Fuel management, F. Tkats, 1994.
- A review of the international applications of the modular vault dry storage, C.C. Carter, 1994.
- Almacenamiento temporal de combustible irradiado: aplicaciones y situaciones en España, J.A. Gago, 1997.
- Almacenamiento intermedio de combustible gastado, J.M. Grávalos, 1997.



Emilio GARCÍA NERI es licenciado en Geografía e Historia por la Universidad Complutense de Madrid, Master en Dirección de Recursos Humanos por la Cámara Oficial de Comercio e Industria de Madrid y Master en Administración y Dirección de Fundaciones por la Universidad Autónoma de Madrid. Se incorporó a ENRESA en julio de 1993, donde en la actualidad forma parte de la Dirección del Área de Relaciones Internacionales.



Álvaro RODRÍGUEZ BECEIRO es Ingeniero Industrial (Rama de Energía) por la Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales de Madrid (E.T.S.I.I.M.). Desde 1976, ha desarrollado su carrera en el campo nuclear, primero en INITEC en el diseño de centrales nucleares (en las áreas de protección radiológica y de seguridad y licenciamiento). En 1987 se incorporó a ENRESA, donde en la actualidad es Director del Área de Relaciones Internacionales.