

Operaciones de desmantelamiento dentro del núcleo del reactor de investigaciones Pégase en Francia. Este reactor pasó a la Etapa 3 de clausura en 1978. (Cortesía de CEA)

Abajo: En la instalación de Elk River en los Estados Unidos de América, un trabajador emplea un soplete convencional para separar las toberas de las barras de control antes de alzar el extremo inferior de la vasija de presión del reactor. Esta instalación se desmanteló entre 1971 y 1974. (Cortesía de US DOE)





# La experiencia como fundamento: perspectiva internacional

*Panorámica de la clausura de instalaciones  
y papel que desempeña el OIEA en la esfera de la cooperación internacional*

por M.A. Feraday

*Poner fuera de servicio a una central definitivamente —un proceso que se conoce por lo general como clausura— es actividad industrial rutinaria, que a menudo se ha descrito como una operación propia de una gigantesca grúa de demolición. Las centrales y las instalaciones pueden desgastarse, tornarse obsoletas o resultar muy costoso su mantenimiento. Muchas simplemente son demolidas o desmontadas, pero otras se limpian, reciben mantenimiento general y se adaptan para otros usos que no tienen que ser forzosamente industriales. Existen opciones.*

*En la industria nuclear, las actividades relativas a la clausura ganarán en importancia en los años venideros. Tras varios decenios de servicio, muchas instalaciones llegan a la edad del retiro definitivo, y hay que decidir su suerte. En el caso de algunas instalaciones ya se ha tomado esa decisión y progresan los trabajos.*

*En lo que respecta a la planificación y el trabajo futuros, la experiencia adquirida en cuanto a la clausura de instalaciones nucleares y otros tipos de instalaciones industriales será de gran beneficio para la clausura segura y eficiente de los reactores nucleares. También lo serán las nuevas técnicas, equipos y procedimientos que se están estudiando, ensayando o demostrando en aplicaciones concretas en emplazamientos nucleares. Con todo, aún se ha de continuar trabajando en diversos sectores.*

*En la serie de artículos que aparecen a continuación se ofrece una visión general sobre la esfera y se destacan algunas de las actividades que se llevan a cabo en todo el mundo.*

Dado el gran número de posibles candidatos en perspectiva, la descontaminación y la clausura de las instalaciones nucleares reviste un gran interés a escala internacional. Por ejemplo, durante más de veinte años han venido explotándose más de 100 de los 270 reactores de investigación y ensayo que existen en todo el mundo. Algunos de ellos pronto habrán llegado al final de su vida útil. Además, en la actualidad se encuentran en proceso de clausura centrales nucleares más antiguas como Gundremmingen-A de la República Federal de Alemania, Windscale (WAGR) del Reino Unido, y Shippingport de los Estados Unidos.

Se calcula que para el año 2010, reactores equivalentes a más de 50 gigavatios eléctricos (GW(e)) estarán en

condiciones de ser cerrados definitivamente en los países miembros de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE), y que para el año 2030, podrían estar listos otros reactores equivalentes a 330 GW(e).

También hay una amplia gama de otras instalaciones del ciclo del combustible nuclear y no nuclear que reclaman actualmente su reparación o clausura. Sólo en los Estados Unidos, es preciso cerrar más de 50 emplazamientos que en otro tiempo se utilizaban para el tratamiento del mineral y los residuos y otras 500 instalaciones excedentes actualmente en funcionamiento. Las instalaciones del ciclo del combustible nuclear abarcan plantas para la fabricación, la conversión y el tratamiento del combustible, celdas calientes, laboratorios y edificios de almacenamiento. Las instalaciones del ciclo del combustible no nuclear abarcan instalaciones como hospitales, laboratorios de investigación, así como también a los fabricantes de radiofármacos que manipulan radisótopos.

El Sr. Feraday es funcionario de la División del Ciclo del Combustible Nuclear del Organismo.

Dibujos: W. Kalabis

**Documentos técnicos**

En una serie de informes basados en el trabajo de cooperación que han llevado a cabo los Estados Miembros del OIEA en varios foros, se ofrece información técnica sobre distintos aspectos de la descontaminación y la clausura de instalaciones nucleares. Entre los trabajos preparados y publicados por el Organismo figuran los siguientes:\*

- *Decommissioning of Nuclear Facilities*, IAEA-TECDOC-179 (1975)
- *Decommissioning of Nuclear Facilities*, IAEA-TECDOC-205 (1977)
- *Seguridad en la explotación de centrales nucleares, inclusive su puesta en servicio y su cierre definitivo -Código de Práctica*, Colección Seguridad del OIEA No. 50-C-O (1978)
- *Decommissioning of Nuclear Facilities*, Actas de un simposio internacional patrocinado conjuntamente por la OCDE/AEN y el OIEA (1979)
- *Manual on Decontamination of Surfaces*, IAEA Safety Series No. 48 (1979)
- *Factors Related to the Decommissioning of Land-Based Nuclear Reactor Plants*, IAEA Safety Series No. 52 (1980)
- *Decommissioning of Operational Nuclear Power Plants*, IAEA-TECDOC-248 (1981)
- *Decommissioning of Nuclear Facilities: Decontamination, Disassembly, and Waste Management*, IAEA Technical Reports Series No. 230 (1983)
- *Decontamination of Nuclear Facilities to Permit Operation, Inspection, Maintenance, Modification, or Plant Decommissioning*, IAEA Technical Reports Series No. 249 (1985)
- *The Methodology and Technology of Decommissioning of Nuclear Facilities*, IAEA Technical Reports Series (en imprenta)
- *Safety in Decommissioning of Research Reactors*, IAEA Safety Series (en imprenta).

\* Véase la sección *Keep Abreast* para solicitar información. Los documentos TECDOC por regla general sólo pueden obtenerse en microfichas.

**No existen serios problemas técnicos**

A lo largo de los últimos 35 años se ha acumulado una experiencia y tecnología considerables en relación con la clausura y la rehabilitación de muchos tipos de instalaciones nucleares. Pese a que aún no se ha desmantelado completamente ningún reactor de gran potencia, entre los expertos existe el consenso general de que, independientemente de las etapas, no existen serios problemas técnicos que impidan la clausura en condiciones de seguridad de cualquier instalación nuclear que emplee la tecnología actual, criterio que está avalado por proyectos y estudios conceptuales.

También existe el consenso general de que el costo de la clausura de las instalaciones nucleares y la evacuación de desechos representará sólo una pequeña fracción de la cuenta de electricidad del consumidor.

Aunque se han hecho progresos en el desarrollo de la tecnología y la metodología de la clausura, es preciso seguir trabajando para mejorar el equipo y las técnicas, reducir los costos y la exposición a la radiación al más bajo nivel posible habida cuenta de las condiciones económicas y sociales. Esos adelantos deben garantizar la disponibilidad de la tecnología necesaria para aplicar las principales medidas del programa de clausura.

**Proceso de etapas múltiples**

La clausura de una instalación nuclear importante, como en el caso de un reactor de gran potencia, es un proceso bastante complejo y de etapas múltiples que requiere una buena planificación, el equipo apropiado, instalaciones de almacenamiento o evacuación y personal bien adiestrado.

Una vez que se ha tomado la decisión de clausurar una instalación y que se han adoptado todas las medidas sociopolíticas y de reglamentación preliminares, los pasos más importantes del proceso de clausura son, de manera simplificada, los siguientes:

- Calcular el inventario de residuos radiactivos en la instalación
- Elaborar planes detallados de clausura, finanzas, seguridad y gestión
- Obtener la aprobación definitiva del órgano reglamentador
- Descontaminar la instalación
- Desmantelar la instalación
- Caracterizar los desechos y separarlos para su reutilización o evacuación en un repositorio o en un lugar a rellenar
- Acondicionar, inmovilizar y embalar los desechos
- Transportar los desechos hasta un repositorio de evacuación
- Limpiar el emplazamiento para su uso sin restricciones
- Evacuar los desechos en lugares adecuados para su nivel de actividad
- Transmitir la experiencia adquirida a los diseñadores de nuevas instalaciones.

**Importancia de la estrategia nacional**

Para garantizar la clausura de las centrales nucleares en condiciones de seguridad, eficiencia y eficacia en función de los costos, cada país debe trazar su estrategia nacional a fin de que los distintos elementos de los programas de clausura se desarrollen según un programa coordinado y de forma tal que satisfagan las necesidades del país. Dicha estrategia asegurará la disponibilidad de la tecnología y la metodología necesarias para cumplir cada medida técnica. Por ejemplo, si no se cuenta con instalaciones de evacuación o almacenamiento apropiadas, el proceso de clausura no podrá ir más allá de la tercera medida que figura en la lista anterior.

Pese a que son muy diversos los tipos de instalaciones nucleares y los desechos que generan, la planificación y muchas de las técnicas empleadas en relación con las medidas técnicas citadas anteriormente son semejantes y pueden adaptarse a los distintos tipos de instalaciones.

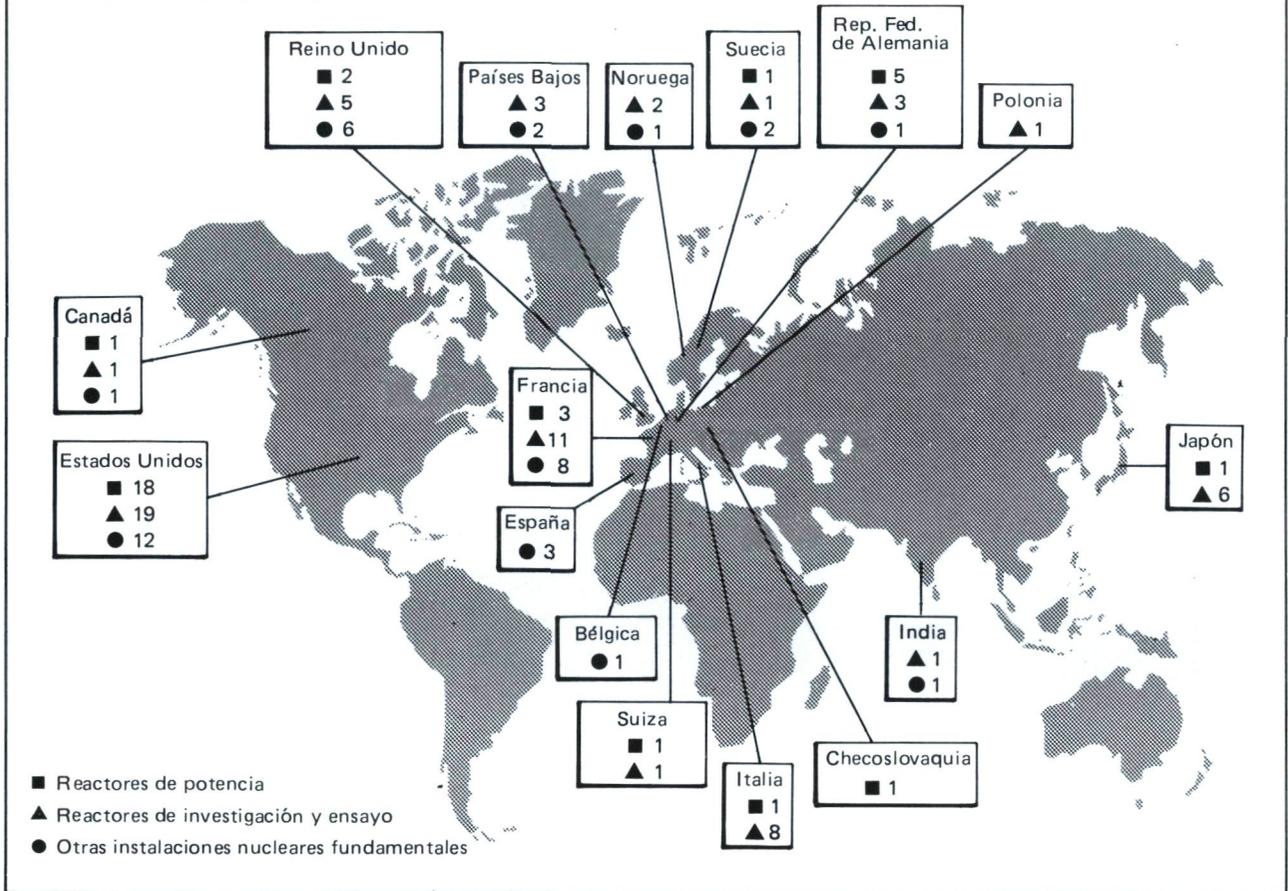
Los países que no disponen de equipo y programas de clausura bien desarrollados cuentan con la asistencia de organismos internacionales como el OIEA y de otros países que tienen programas bien desarrollados.

**Programa del OIEA en materia de clausura**

Desde que el OIEA incluyó por primera vez en 1973 la cuestión de la clausura en sus programas, el Organismo ha elaborado varios documentos que reflejan las necesidades de los Estados Miembros en esta esfera (véase la lista que figura en el recuadro). En

### Proyectos de clausura en todo el mundo

En el transcurso de los últimos 35 años se ha adquirido considerable experiencia en materia de clausura y rehabilitación de muchos tipos de instalaciones nucleares. Otras instalaciones se hallan en la actualidad en distintas etapas de clausura o se espera que lo estén próximamente. En total, unas 134 instalaciones nucleares de 16 países figuran en la lista del OIEA de proyectos de clausura terminados, previstos o en curso. En el Informe Técnico del OIEA titulado *The Methodology and Technology of Decommissioning of Nuclear Facilities* (en prensa) aparecen cuadros generales de instalaciones nucleares por tipo, ubicación y etapa de clausura.



dichos informes se resume la labor que han llevado a cabo diversos comités técnicos, grupos asesores y simposios internacionales sobre diversas cuestiones relativas a la clausura y la descontaminación. Los documentos que ha publicado el Organismo al respecto han tenido una favorable acogida entre el personal técnico y proporcionan un valioso recurso a los Estados Miembros, especialmente a los países en desarrollo que han iniciado actividades de clausura.

En respuesta al creciente interés internacional por la clausura y a las necesidades de los Estado Miembros, en los últimos años el OIEA ha incrementado sus actividades en esta esfera, y ha decidido desarrollarlas de manera considerable en el futuro. Como resultado de un intenso trabajo de examen del programa y las necesidades de los Estados Miembros, se está elaborando un programa a largo alcance aplicando un enfoque de sistemas integrados que abarque todas las medidas técnicas y de reglamentación asociadas con la clausura de las instalaciones nucleares. La base de datos que genere ese trabajo se hace necesaria para que los Estados Miembros puedan clausurar sus instalaciones nucleares con seguridad, y de manera oportuna y eficaz en función de los costos, así como para que el Organismo pueda responder adecuadamente a las solicitudes de asistencia.

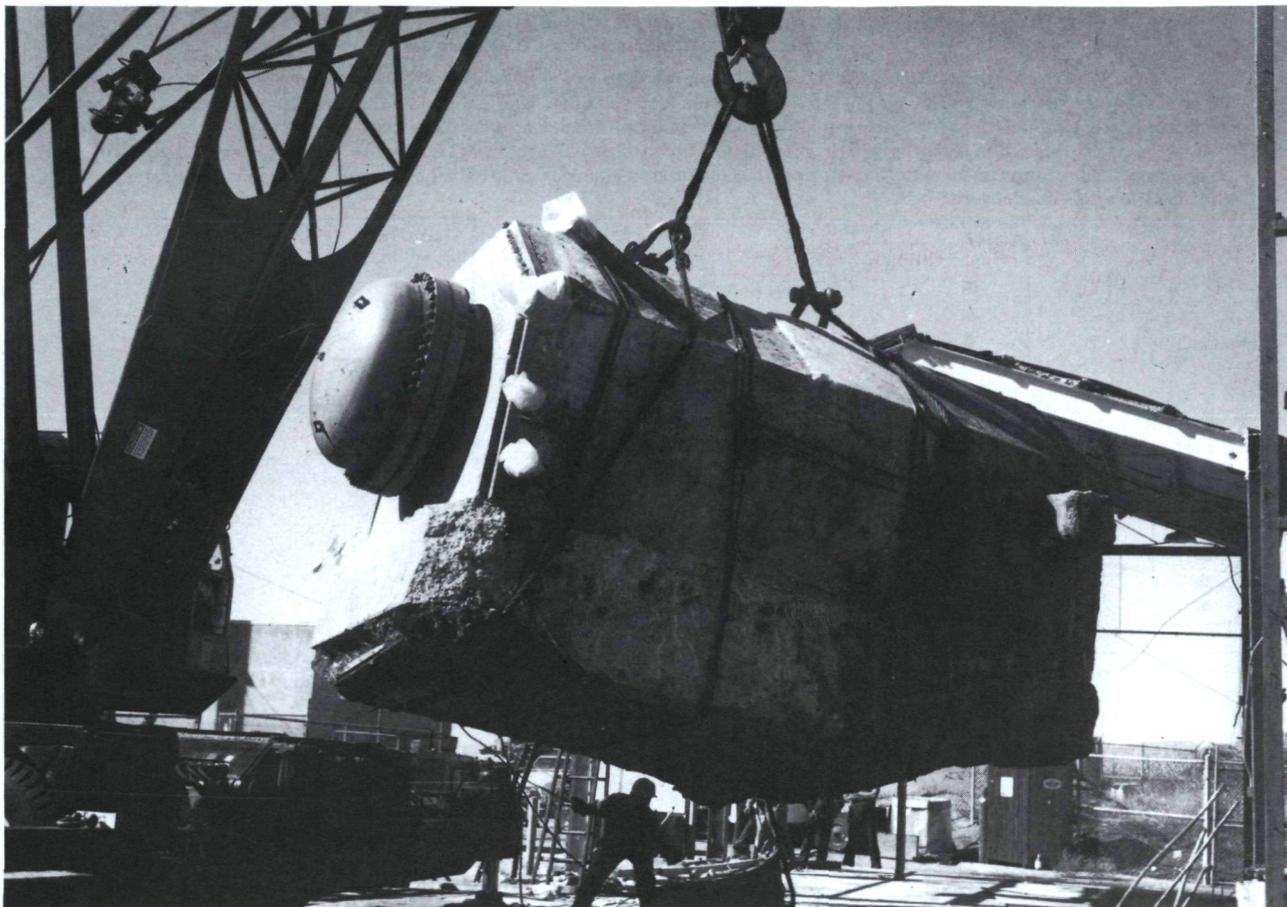
El objetivo que persigue el programa del OIEA en materia de clausura es prestar asistencia a los Estados Miembros a fin de que adquieran la pericia necesaria para la clausura de sus instalaciones nucleares. Esto se hace en especial mediante la recopilación, evaluación y difusión de datos sobre los más recientes aspectos técnicos, de reglamentación y económicos relacionados con la clausura, la asistencia y la orientación técnicas a los Estados Miembros con miras a la creación de programas adecuados y a la planificación y ejecución de sus actividades de clausura, y la cooperación en la elaboración de directrices, códigos de seguridad y guías sobre ese tema.

#### Base de datos sobre clausura

La base de datos integrada que se prepara actualmente abarcará todos los aspectos técnicos y de reglamentación de la descontaminación y la clausura.

En un informe anterior se señalaron los principios generales y los factores que han de tenerse en cuenta para la clausura, de manera segura y ordenada, de los reactores nucleares emplazados en tierra.\* Dicho

\* *Factors Related to the Decommissioning of Land-Based Nuclear Reactor Plants*, IAEA Safety Series No. 52 (1980).



Eliminación de una vasija de reactor con su blindaje de hormigón antes de su transporte para ser enterrada. (Cortesía de Rockwell International)

### La clausura: objetivos y etapas

En la industria nuclear, "clausura" significa las medidas que se toman al final de la vida útil de una instalación con vistas a retirarla del servicio de forma tal que se proteja adecuadamente la salud y seguridad del personal, el público en general y el medio ambiente. Estas medidas pueden abarcar desde el simple cierre de la instalación (con la eliminación mínima del material radiactivo y una vigilancia y mantenimiento continuos) hasta la completa eliminación de toda la actividad residual que supere niveles que impidan el uso sin restricciones del emplazamiento o la instalación. El objetivo final de todas las medidas de clausura es la limpieza de todas las instalaciones y emplazamientos para que, con el tiempo, pueda autorizarse su uso sin restricciones.

#### Etapas de la clausura

El término "etapa" tal como se utiliza aquí, implica un conjunto de condiciones para la instalación que se va a clausurar. No entraña un procedimiento gradual y continuo ni requiere la adopción de las tres etapas que se describen a continuación. Por ejemplo, la Etapa 3 pudiera seguir a la Etapa 2 inmediatamente o cien años más tarde, según la estrategia que se decida adoptar; asimismo, el explotador de la instalación podría proceder de inmediato a aplicar la Etapa 3 obviando las demás etapas.

Las tres etapas de la clausura son por lo general las siguientes:

- **Etapa 1.** La primera barrera de contención se mantiene tal y como estaba durante la explotación, pero se precintan las aberturas mecánicas con carácter permanente. El edificio y la atmósfera de contención se conservan en un estado apropiado al riesgo existente en dicho edificio. Se toman medidas de vigilancia, control e inspección a fin de garantizar que la central se mantenga en buenas condiciones.

- **Etapa 2.** Se reduce al mínimo la primera barrera de contención al eliminar las piezas que se pueden desmantelar con facilidad. Se refuerza el precintado de la barrera por medios físicos y, de ser necesario, se extiende el blindaje biológico alrededor de toda la barrera. Una vez efectuada la descontaminación, el edificio de contención se puede modificar o eliminar si ya no resulta necesario para la seguridad radiológica. Se puede permitir el acceso al edificio. Los edificios no radiactivos ubicados en el emplazamiento pueden utilizarse para otros fines. Pueden disminuirse las actividades de vigilancia e inspección pero se deben continuar las comprobaciones en el lugar.

- **Etapa 3.** Se eliminan todos los materiales, equipos y piezas de la central que aún contengan una elevada radiactividad. La central y el emplazamiento quedan libres para su uso sin restricciones. No son precisas otras medidas de inspección o vigilancia.

#### Factores que han de tomarse en cuenta

A la hora de seleccionar las etapas adecuadas para la clausura, se debe tomar en cuenta un conjunto de importantes factores técnicos, ambientales, sociales, de reglamentación y seguridad. Estos factores incluyen: la estrategia nacional; la disponibilidad de fondos suficientes; zonas de almacenamiento o evacuación; métodos de descontaminación y equipos de desmontaje apropiados y personal bien adiestrado. Los otros factores son: el estado de los edificios; el uso que el propietario prevé dar al emplazamiento; la disponibilidad de otros emplazamientos nucleares adecuados; problemas ambientales y sociales; y riesgos potenciales para los trabajadores y el público en general.

informe contiene debates sobre criterios relativos a la planificación, la gestión, la garantía de la calidad, y la desactivación para ejecutar con éxito un proyecto de clausura. En un informe posterior se suministra información sobre aspectos técnicos que resultan importantes para la clausura de una instalación, así como un breve análisis de los métodos disponibles para la descontaminación y el desmontaje de una instalación nuclear y un esbozo de las esferas de la metodología de la clausura en que se pueden hacer mejoras.\*

En general, los desechos procedentes de la clausura de instalaciones nucleares no se diferencian mucho de otros desechos radiactivos. Para el futuro inmediato no se prevé la publicación de otros documentos sobre los desechos procedentes de clausuras, ya que en otros informes del OIEA se tratan ampliamente los métodos para el tratamiento, la preparación, el almacenamiento, el transporte y la evacuación de los desechos radiactivos.

En otros dos informes se abordan más a fondo los aspectos técnicos de la clausura. En uno de ellos se examinan las técnicas que se emplean o se están creando para descontaminar las instalaciones nucleares no sólo con vista a su clausura, sino también para facilitar el funcionamiento, la inspección, el mantenimiento y las modificaciones en las centrales en explotación.\*\*

En el segundo informe se hace un examen de los métodos y la tecnología utilizados en la clausura de las instalaciones nucleares.\*\*\* Su propósito es complementar y reforzar los datos publicados con anterioridad y, en especial, brindar datos técnicos minuciosos sobre las esferas de la tecnología de la clausura que no han sido tratadas en ningún otro documento, incluidos los costos y la financiación de las operaciones de clausura.

En el informe se incluyen tres anexos pormenorizados. En el primero se ofrecen detalles sobre los reactores y las otras instalaciones nucleares que se han clausurado o que lo serán en breve. En el segundo anexo se examinan los instrumentos especiales y convencionales que se emplean en la demolición y el desmontaje de las vasijas, el hormigón, las tuberías y otros componentes de los reactores. Entre las técnicas descritas figuran las siguientes: el soplete metalizador de arco eléctrico, el corte con explosión, la bola de demolición, la lanza de reacción de termita, las sierras alternativas para metales, los grandes artefactos para cortar hormigón, los robots industriales, los sistemas automatizados de vehículos teledirigidos, y el uso del equipo en la industria nuclear y los criterios sobre su funcionamiento. Muchos Estados Miembros están elaborando sistemas modernos de manipulación a distancia, sistemas de manipulación robótica a distancia, así como otras tecnologías avanzadas para las futuras tareas de clausura.

Como complemento a esos informes, el OIEA está preparando y prevé la publicación de varios informes técnicos sobre temas relativos a la clausura, como: los

métodos para reducir la exposición por motivos profesionales; la tecnología, la seguridad y los aspectos económicos del reciclaje de materiales; la descontaminación y demolición de las estructuras de hormigón y acero; las actividades de vigilancia conforme a los criterios de uso ilimitado; el estado de desarrollo y uso de la tecnología de los sistemas de manipulación a distancia en la clausura de instalaciones; y el establecimiento de procedimientos de reglamentación.

### Normas de clausura

Durante la clausura, al igual que en las demás actividades de la esfera nuclear, deben existir normas para garantizar que el personal, el público y el medio ambiente estén protegidos de los riesgos nucleares inadmisibles que entraña el trabajo. Muchos son los factores que determinan los tipos de procedimientos, normas y equipo que han de garantizar la seguridad durante la clausura. Entre esos factores están el tipo de instalación, la magnitud y las características del inventario radiactivo de la instalación, el equipo disponible, el emplazamiento, y la ubicación de la instalación.

Durante el proceso de clausura se pueden aplicar también las normas que se emplean durante el funcionamiento normal de las instalaciones nucleares, por ejemplo, las relativas a la protección radiológica, la evacuación de desechos, el transporte, y la calidad de los efluentes líquidos y gaseosos. La creación de normas para la reutilización ilimitada o la evacuación de los materiales, el equipo, las instalaciones y los emplazamientos también es necesaria para la clausura, así como para la gestión regular de desechos.

Una vez que los órganos nacionales e internacionales hayan creado dichas normas, éstas tendrán que ser aprobadas por las autoridades nacionales antes de que se conviertan en ley en cada Estado Miembro.

En el pasado se han aplicado normas especiales en cada caso para el desbloqueo o el reciclaje sin restricciones de diferentes artículos. A continuación se citan algunos ejemplos:

- En la República Federal de Alemania (RFA) se clausuró el buque nuclear *Otto Hahn* eliminando todas las piezas nucleares y limpiando toda actividad residual. Hoy el buque puede utilizarse como cualquier otro barco.
- En la República Federal de Alemania se descontaminaron unos 900 millones de gramos de residuos de metal procedentes de la central nucleoelectrónica de Würgassen y se reutilizaron como chatarra normal.
- En los Estados Unidos se ha autorizado la limpieza de emplazamientos e instalaciones nucleares con vista a su uso sin restricciones atendiendo a las directrices que ha establecido sobre esa actividad la Comisión Reguladora Nuclear.

Esa práctica de emplear criterios elaborados atendiendo a cada caso para un número determinado de circunstancias ha funcionado razonablemente bien. Sin embargo, desde el punto de vista operacional, se recomienda establecer un conjunto general de principios en lo que respecta a la liberación ilimitada, de manera que:

- El gran volumen de desechos de muy baja radiactividad provenientes de la clausura y de otras fuentes se pueda evacuar de manera segura como materiales de relleno, lo

\* *Decommissioning of Nuclear Facilities: Decontamination, Disassembly, and Waste Management*, IAEA Technical Reports Series No. 230 (1983).

\*\* *Decontamination of Nuclear Facilities to Permit Operation, Inspection, Maintenance, Modification, or Plant Decommissioning*, IAEA Technical Reports Series No. 249 (1985).

\*\*\* *The Methodology and Technology of Decommissioning of Nuclear Facilities*, IAEA Technical Reports Series (en imprenta).

que suele resultar mucho menos costoso que incluso la forma más barata de enterramiento superficial en un repositorio radiactivo.

- Los metales de valor procedentes de las instalaciones que están en proceso de clausura puedan reciclarse y el equipo costoso y los emplazamientos puedan reutilizarse.

### Principios radiológicos internacionales

En el pasado, el OIEA se ha interesado en la formulación de principios internacionales que rijan la evacuación de los materiales radiactivos que constituyen un riesgo insignificante para la salud. Varios grupos de trabajo del OIEA han examinado los criterios necesarios para definir las cantidades y los tipos de desechos que podrían evacuarse en el mar sin un permiso especial, y la evacuación en el medio terrestre sin la necesidad de un control reglamentario.

Los trabajos que se llevan a cabo actualmente en torno a la exención están dirigidos a crear un conjunto de principios o reglas radiológicas que pueda aplicarse de manera general a las circunstancias en que se considere que pueda justificarse la exención del cumplimiento de los requisitos o reglamentos. Al parecer, esos principios de exención exigirán que se analice por separado cada situación en que se esté considerando la posibilidad de exención, a fin de determinar si se cumplen las reglas radiológicas. El principal objetivo que persigue ese requisito es evitar el posible uso indebido de los procedimientos de exención y la diseminación de una contaminación radiactiva de bajo nivel. Sin embargo, aun es probable que se establezcan exenciones más generalizadas para la evacuación de algunos tipos de desechos bien definidos por determinadas rutas de evacuación.

El OIEA, en cooperación con la Agencia para la Energía Nuclear de la OCDE, la Organización Mundial de la Salud, y la Organización Internacional del Trabajo, está trabajando en la creación del fundamento filosófico

de las reglas de exención. Además, se prepara un informe en que se señalan los métodos que han de emplearse al aplicar los principios de exención con miras a determinar en la práctica las cantidades exentas para la evacuación en emplazamientos municipales de materiales de relleno o mediante la incineración.

Se ha iniciado otro estudio con objeto de aplicar las reglas de exención y crear métodos de modelaje destinados a evaluar en la práctica las cantidades exentas para la evacuación de desechos resultantes de la clausura o para el posible reciclaje de equipos y materiales.

Durante la clausura de una instalación nuclear, debe contarse con normas y medios de verificación para separar los desechos activos y los de bajo nivel de radiactividad correspondientes a la categoría de materiales exentos. En general, estos materiales se dividen en tres categorías:

- Desechos como tales, que serían evacuados en emplazamientos de materiales de relleno
- Metales valiosos que podrían ser refundidos y reciclados
- Equipos valiosos que podrían utilizarse de nuevo

En cuanto a esas tres categorías, tal vez lo más importante es que se disponga de los criterios y los instrumentos adecuados para clasificar la primera categoría de desechos destinados a la evacuación. Ello se debe a que esta categoría representa el mayor volumen de desechos y a que suele ser muy notable la diferencia de costos entre la evacuación como material de relleno y en repositorios de desechos nucleares.

### Intercambio de experiencia

Además de las actividades descritas en el presente artículo, el OIEA trabaja y coopera activamente con muchas otras organizaciones nacionales e internacionales en las esferas de la clausura y la descontaminación de las instalaciones nucleares. El objetivo que se persigue es reducir la superposición y duplicación de los esfuerzos y compartir los conocimientos al máximo posible.

