



# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Abril de 2016 • [www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)



## Clausura y restauración ambiental



**IAEA BULLETIN**

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

Abril de 2016 • www.iaea.org/bulletin



## Clausura y restauración ambiental

### EL BOLETÍN DEL OIEA

es elaborado por la  
Oficina de Información al  
Público y Comunicación (OPIC)  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: (43-1) 2600-21270  
Fax: (43-1) 2600-29610  
iaebulletin@iaea.org

Editor: Miklos Gaspar

Director editorial: Aabha Dixit

Editores colaboradores: Nicole Jawerth,  
Laura Gil Martinez

Asesores técnicos: Vladan Ljubenov, Vladimir Michal,  
Horst Monken-Fernandes, Patrick O'Sullivan,  
Gerhard Proehl, John Rowat  
Diseño y producción: Ritu Kenn

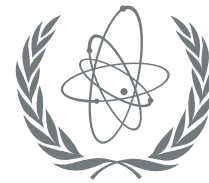
El BOLETÍN DEL OIEA está disponible en  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

Podrá reproducirse libremente parte del material del OIEA contenido en el Boletín del OIEA siempre que se reconozca su fuente. Si en la atribución de un artículo se indica que el autor no es funcionario del OIEA, para volver a publicar el material deberá solicitarse permiso al autor o a la organización de origen, salvo cuando se trate de una reseña.

Las opiniones expresadas en cualquiera de los artículos firmados que figuran en el Boletín del OIEA no representan necesariamente las del Organismo Internacional de Energía Atómica y el OIEA declina toda responsabilidad por ellas.

Portada:

El resultado positivo de las actividades de restauración ambiental en el emplazamiento de extracción de uranio de Bellezane, en la región de Lemosín (Francia)  
(Fotografía: AREVA/Francia)



**IAEA**

La misión del Organismo Internacional de Energía Atómica es evitar la propagación de las armas nucleares y ayudar a todos los países, especialmente en el mundo en desarrollo, a sacar provecho de los usos pacíficos y tecnológica y físicamente seguros de la ciencia y la tecnología nucleares.

El OIEA, establecido en 1957 como organización independiente de las Naciones Unidas, es la única organización del sistema de las Naciones Unidas que cuenta con conocimientos especializados en materia de tecnologías nucleares. Tiene laboratorios especializados de características singulares, que ayudan a transferir conocimientos y competencias técnicas a sus Estados Miembros en esferas tales como la salud humana, la alimentación, los recursos hídricos y el medio ambiente.

El OIEA es también la plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear. Ha creado la Colección de Seguridad Física Nuclear, integrada por publicaciones en las que se dan orientaciones sobre seguridad física nuclear aprobadas por consenso internacional. La labor del OIEA se centra igualmente en ayudar a reducir al mínimo el riesgo de que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas y delincuentes o de que las instalaciones nucleares sean objeto de actos dolosos.

Las normas de seguridad del OIEA proporcionan un sistema de principios fundamentales de seguridad y reflejan un consenso internacional sobre lo que representa un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Estas normas se han elaborado para todos los tipos de instalaciones y actividades nucleares destinadas a fines pacíficos, y comprenden la clausura.

Mediante su sistema de inspecciones el OIEA también verifica que, conforme a los compromisos que han contraído en virtud del Tratado sobre la No Proliferación de las Armas Nucleares y de otros acuerdos de no proliferación, los Estados Miembros utilicen los materiales e instalaciones nucleares para fines pacíficos exclusivamente.

Su labor es multifacética y se lleva a cabo con la participación de una gran variedad de asociados en los planos nacional, regional e internacional. Los programas y presupuestos del OIEA se establecen mediante decisiones de sus órganos rectores: la Junta de Gobernadores, compuesta por 35 miembros, y la Conferencia General, que reúne a todos los Estados Miembros.

El OIEA tiene su sede en el Centro Internacional de Viena. También cuenta con oficinas sobre el terreno y de enlace en Ginebra, Nueva York, Tokio y Toronto. Además, tiene laboratorios científicos en Mónaco, Seibersdorf y Viena. Por otra parte, presta apoyo y proporciona recursos financieros al Centro Internacional de Física Teórica "Abdus Salam", en Trieste (Italia).

# Clausura y restauración: mejora de la seguridad de las personas y el medio ambiente

Yukiya Amano

Son muchos los usos beneficiosos y pacíficos de la ciencia y la tecnología nucleares, entre ellos la generación de energía y la producción de radioisótopos destinados a su administración en el tratamiento del cáncer. Todos los materiales nucleares han de someterse cuidadosamente a disposición final cuando estos, y las instalaciones en que se encuentran, llegan al final de su vida útil.

En el caso de los países que inician nuevos programas nucleoeeléctricos, antes de poner la primera piedra, actualmente se elaboran planes preliminares para la clausura de los reactores y la disposición final en condiciones de seguridad de materiales como el combustible nuclear gastado, que habrán de realizarse en el futuro. Asimismo, se planifica de antemano la financiación de esas tareas. No obstante, no siempre ha sido así. Cuando se construyeron muchos de los más de 400 reactores nucleares de potencia en funcionamiento hoy día en el mundo, no existía tal requisito. En la actualidad muchos países están ejecutando o elaborando planes de clausura de esas instalaciones. El OIEA les ayuda aportando sus conocimientos especializados a nivel internacional y sus casi 60 años de experiencia.

En el presente número del *Boletín del OIEA* se destacan las buenas prácticas utilizadas en todo el mundo. En España, la clausura de la primera central nuclear del país progresa dentro del plazo y el presupuesto previstos (página 7) y, en la región francesa de Lemosín, la restauración ambiental ha transformado antiguos emplazamientos de extracción de uranio en zonas de recreo para la población (página 14). En Asia Central, el OIEA ayuda a los gobiernos a descontaminar de forma segura unos mil millones de toneladas de desechos contaminados procedentes de la extracción de uranio (página 12).

Asimismo, se examinan tecnologías y tendencias innovadoras en materia de clausura y restauración ambiental (página 22) y los lectores podrán hacerse una idea del trabajo de un responsable de la clausura (página 10). Se explican los desafíos que entraña la clausura de los reactores de

investigación que, a diferencia de las centrales nucleares, suelen encontrarse en zonas urbanas (página 16).

## Conocimientos técnicos

El intercambio de información es un componente fundamental de la planificación de

la clausura y la restauración ambiental. Los propietarios de instalaciones y emplazamientos pueden basarse en las experiencias de contrapartes de otros países a fin de elaborar planes mejores y más completos para el futuro. El OIEA actúa de plataforma para esta cooperación. También desempeñamos la función importante de proporcionar normas de seguridad y orientaciones sobre seguridad física nuclear para la clausura y la gestión de los desechos nucleares.

Los países y los explotadores de las instalaciones han de estar preparados siempre para una posible contaminación radiactiva como resultado de accidentes nucleares o radiológicos o de percances laborales. Con una planificación adecuada, es posible responder rápida y eficazmente en caso de incidentes y reducir al mínimo los efectos nocivos de la contaminación en las personas y el medio ambiente. En los últimos cinco años, el OIEA ha prestado un importante apoyo al Japón en este ámbito (página 8).

Espero que la presente edición del *Boletín del OIEA* aumente la conciencia sobre estas cuestiones y sea útil para los participantes en la Conferencia Internacional del OIEA sobre el Fomento de la Aplicación Global de Programas de Clausura y Restauración Ambiental, que tendrá lugar en Madrid del 23 al 27 de mayo.



**Yukiya Amano**  
Director General del OIEA



(Fotografías: C. Brady, P. Palivcek, OIEA)

## Prólogo

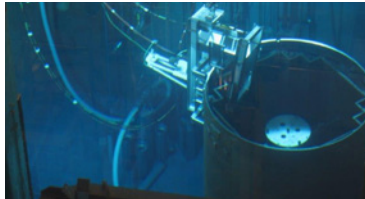


**1 Clausura y restauración: mejora de la seguridad de las personas y el medio ambiente**

## Clausura y restauración ambiental



**4 Clausura y restauración ambiental: panorama general**



**6 Atando cabos sueltos: los buenos resultados de un proyecto de clausura realizado en España**



**8 Entre bastidores: hablamos con un responsable de la clausura**



**10 Desterrar un legado tóxico: restauración ambiental de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central**



**12 De mina de uranio a lago de pesca: restauración ambiental de la región francesa de Lemosín**



**14 Misiones del OIEA examinan las actividades de clausura en la central nuclear de Fukushima Daiichi**



**16 De la planificación a la clausura: el ciclo de una central nuclear**



**18 La clausura de los reactores de investigación no es ninguna tontería**



**20 Promover el conocimiento, mejorar la seguridad: servicios del OIEA para la clausura y la restauración ambiental**



**22 Nuevas tecnologías de clausura y restauración**

Punto de vista en el mundo

**24 Clausura de instalaciones nucleares: la experiencia de Alemania**

— Boris Brendebach

**26 Tendencias actuales en la clausura y la restauración ambiental de instalaciones nucleares**

— Juan José Zaballa Gómez

Noticias del OIEA

**28 Desafíos en el desarrollo de infraestructura nuclear comunes a los países en fase de incorporación**

**29 Requisitos de seguridad y concesión de licencias para reactores modulares de pequeña potencia. El OIEA acoge el primer taller para reguladores**

**30 Gran paso adelante del OIEA en la disposición final de fuentes radiactivas**

# Clausura y restauración ambiental: panorama general

Irena Chatzis



**Personal encargado de la clausura cortando una pieza de un equipo grande de metal en una central nuclear.**

(Fotografía: Sellafield Ltd, Reino Unido)

La clausura nuclear y la restauración ambiental comparten un objetivo común: reducir la exposición de las personas y el medio ambiente a la radiación en emplazamientos en los que los niveles de radiactividad obligan a aplicar restricciones para poder utilizarlos.

La clausura es una actividad prevista que se realiza al final de la vida útil de las instalaciones a las que se ha concedido una licencia reglamentaria para llevar a cabo actividades nucleares o relacionadas con la energía nuclear. Abarca todas las actividades necesarias para eximir dichas instalaciones del control reglamentario y, por lo tanto, hacer que el emplazamiento pueda destinarse a otros usos (véase el recuadro).

## Clausura

La clausura es una parte normal del ciclo vida de prácticamente todas las instalaciones industriales. Cuando una instalación deja de tener una utilidad social o económica, se debe desmantelar y disponer el emplazamiento para otros usos.

Los requisitos para la clausura deberían tenerse en cuenta durante el diseño y la planificación de las instalaciones. El plan de clausura y las correspondientes estimaciones de costos deben prepararse con antelación a fin de asegurar que se dispondrá de recursos financieros suficientes.

La restauración ambiental, por otra parte, se centra en reducir la exposición a la radiación ocasionada por la contaminación de la tierra, el suelo y el agua subterránea debida a actividades pasadas en las que se utilizaron materiales radiactivos con fines civiles o militares (véase el recuadro de la página siguiente).

## Supervisión para garantizar la seguridad

El objetivo tanto de la clausura como de la restauración ambiental es lograr que los niveles de radiactividad residual bajen lo suficiente como para poder utilizar los emplazamientos con cualquier fin, sin restricción alguna. No obstante, puede que en algunos casos eso no sea factible y se impongan restricciones a la utilización futura del terreno. Por ejemplo, tras la clausura, algunos emplazamientos se pueden reutilizar para actividades industriales no nucleares, pero no como zonas residenciales. Algunos de los antiguos emplazamientos de extracción de uranio pueden ser declarados aptos para su reutilización como reservas naturales o para otras actividades de ocio.

La clausura y la restauración ambiental son proyectos industriales de gran envergadura en los que se debe garantizar la seguridad de la fuerza de trabajo, la población local y el medio ambiente ante peligros radiológicos y peligros convencionales. Por consiguiente, un marco jurídico y regulador adecuado, así como la capacitación apropiada del personal tanto en la ejecución como en la supervisión reglamentaria, son algunas de las condiciones previas necesarias para garantizar la seguridad.

## Gestión de desechos radiactivos

Otro requisito importante es la existencia de un sistema bien coordinado para gestionar los desechos derivados de la clausura

El plan de clausura y la estimación de costos evolucionarán durante la vida útil de la central y, a medida que se acerque el final de la vida de la central, serán cada vez más detallados.

No obstante, para muchas de las instalaciones construidas en los primeros tiempos de la industria nuclear no existen esos planes. En el caso de estas centrales más antiguas, también puede que no existan registros exhaustivos sobre la configuración de la central ni informes detallados del historial de explotación. Este tipo de situaciones hacen que el proceso de clausura sea más complejo.

o la restauración ambiental. La clausura suele generar grandes cantidades de materiales con niveles bajos de radiactividad. En función del material de que se trate y de los reglamentos nacionales, será posible someter a disposición final una parte importante de los desechos en instalaciones de disposición final cerca de la superficie que cumplan las normas de seguridad internacionales relativas a la disposición final permanente. Ya existen instalaciones de este tipo en diversos países; en otros, los materiales de desechos deben almacenarse temporalmente hasta que se encuentre una solución a largo plazo.

Es posible reducir considerablemente la cantidad de desechos radiactivos descontaminando los sistemas de las centrales antes de su desmantelamiento. Algunos países también disponen de instalaciones de reciclado de chatarra, por ejemplo, mediante procesos de fundición. En el caso de los desechos con niveles de radiactividad más elevados o componentes de período largo, por lo general estos deberán colocarse en repositorios situados a gran profundidad.

En el caso de la restauración ambiental, las cantidades de materiales de desechos pueden ser mucho mayores si, por ejemplo, hay que retirar suelo y posteriormente someterlo a disposición final como desecho. En este caso también existe la opción de reducir el volumen, por ejemplo, separando los componentes del suelo más contaminados de los que lo están menos.

### Financiación

La disponibilidad de fondos suficientes es un elemento clave en los proyectos de clausura y restauración ambiental que, por lo general, son muy caros. Una proporción importante de los emplazamientos que deben clausurarse o restaurarse

### Aplicación de un esquema combinado para cubrir y drenar colas de tratamiento de uranio.

(Fotografía: Wismut GmbH, Alemania)



pertenecen al Estado y los costos de ejecución se sufragan con cargo a los presupuestos nacionales. A menudo, el total de fondos asignados a las actividades de restauración ambiental dependen de las prioridades del gobierno.

En el caso de las centrales nucleares comerciales, la responsabilidad de la financiación de la clausura suele recaer en el propietario de la central. Normalmente, los fondos se invierten en un fondo especial destinado a cubrir los costos de la clausura o, en el caso de algunas grandes compañías eléctricas, la financiación procede directamente de los ingresos operacionales y el flujo de efectivo de la compañía.

### Situación actual

Aunque algunos países han realizado progresos importantes, muchos se enfrentan a grandes dificultades al ejecutar sus programas de clausura y restauración ambiental.

Actualmente no se pueden iniciar nuevos proyectos sin cumplir el requisito universal de disponer de planes de gestión de todo el ciclo de vida de las instalaciones nucleares.

## Restauración ambiental

El objetivo de la restauración ambiental es reducir la exposición a la radiación procedente de suelos contaminados, instalaciones de almacenamiento de desechos u otras infraestructuras y aguas subterráneas o superficiales contaminadas. Con ello se pretende proteger a las personas y el medio ambiente de los posibles efectos nocivos debidos a la exposición a radiación ionizante, que puede derivarse de actividades como la extracción y el procesamiento del uranio o la emisión de sustancias radiactivas al medio ambiente después de un accidente nuclear o radiológico.

Las industrias no nucleares, como las de producción de petróleo y gas, cuyas actividades de prospección y extracción pueden aumentar las posibilidades de exposición a materiales radiactivos naturales, también pueden generar materiales radiactivos.

En la restauración ambiental se deben tener en cuenta cuatro elementos fundamentales:

1. Los niveles de exposición a la radiación de las personas debida a la contaminación.
2. La reducción de las dosis y los riesgos de radiación haciendo un uso óptimo de los recursos financieros, técnicos y humanos.
3. El hecho de que quizás no sea necesario restablecer las condiciones en que se encontraba el emplazamiento antes del suceso que causó la contaminación, lo que, en cualquier caso, no se suele lograr fácilmente.
4. El motivo principal de la restauración que, en muchos casos, es la percepción del público en cuanto a los riesgos y los beneficios de emprender las actividades de restauración. En tales situaciones, el bienestar general de la comunidad local es un factor importante para determinar el estado final previsto del emplazamiento.

# Atando cabos sueltos: los buenos resultados de un proyecto de clausura realizado en España

Laura Gil

A escala mundial, solo 17 de los 157 reactores nucleares de potencia en régimen de parada definitiva han sido clausurados por completo, proceso que exige muchos recursos y que suele tardar decenios en llevarse a cabo. Si bien es un proceso complejo, hay un caso en Guadalajara (España) que ilustra cómo una planificación minuciosa, un contexto adecuado en materia de políticas y reglamentación, el compromiso gubernamental y la participación de los interesados pueden allanar el camino para que la clausura se realice con éxito.

La clausura de la primera central nuclear española, José Cabrera, con una potencia eléctrica de 150 MW, ha cumplido desde el principio los plazos previstos, encontrándose aproximadamente al 70 % de su conclusión, y se ha realizado de acuerdo con el presupuesto inicial, de unos 150 millones de euros a precios de 2016. La Empresa Nacional de Residuos Radiactivos de España (Enresa), entidad pública encargada del proyecto, tiene previsto finalizar la clausura para 2018.

El desmantelamiento de José Cabrera no se parece a otros proyectos de clausura de centrales comerciales, generalmente a cargo de los explotadores de la central, que suelen llevarla a cabo. “El caso español es prácticamente único, en primer lugar, porque la clausura compete a un organismo público especializado”, afirma Juan Luis Santiago Albarrán, Director de Operaciones de Enresa.

En España, una vez que una central está en régimen de parada y que se ha concedido un permiso de clausura, el control pasa de los propietarios y explotadores a Enresa, que se ocupa de la clausura y la gestión a largo plazo de los desechos radiactivos.

Durante más de 20 años, Enresa ha sido el centro de los conocimientos especializados en materia de clausura en España y se ha encargado de la clausura de todas las principales instalaciones en que se utiliza la radiactividad, entre ellas las fábricas de uranio de Jaén y Badajoz, y una central nuclear en Tarragona. La clausura de José Cabrera es el primer proyecto de desmantelamiento en España que empezará justo después de la parada.

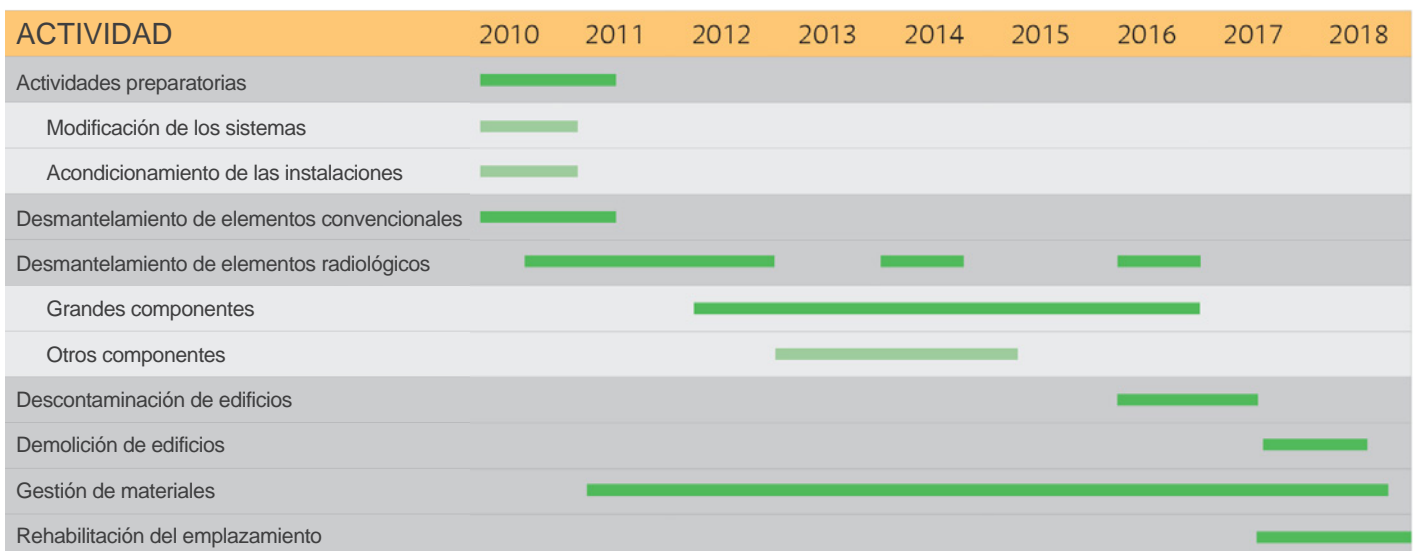
## Planificar una y otra vez e innovar

Según Santiago Albarrán, la clave del éxito de la clausura es una planificación minuciosa, sin olvidar el análisis de principio a fin de todos los aspectos del proyecto. Entre ellos figuran la concesión de licencias y la aprobación por el Gobierno, las actividades de desmantelamiento y descontaminación, la gestión de desechos y, por último, la devolución del emplazamiento a su propietario.

Enresa, que estimó un plazo de siete años para la clausura, empezó a reunir la documentación y las licencias reglamentarias tres años antes de que la central entrase en régimen de parada, en 2006. Para 2010 contaba con los documentos de aprobación necesarios, se había hecho cargo de la responsabilidad plena del proceso de clausura y podía poner en marcha el proyecto.

“Nuestro consejo es que se planifique por adelantado, que se preparen con suficiente antelación todos los documentos pertinentes relativos a las licencias y que se supervise de forma rigurosa y constante el progreso de todas las operaciones”, recomienda Santiago Albarrán.

## Calendario de la clausura de la central nuclear José Cabrera



(Fuente: Enresa)



Para optimizar el proceso es preciso innovar mucho en los proyectos de clausura, aprovechando al máximo todos los instrumentos disponibles y mitigando posibles riesgos. Enresa convirtió la sala de turbinas, que tiene gruesos muros de protección, en una instalación de gestión de desechos, donde se podían tratar, gestionar y almacenar desechos radiactivos.

Esta posibilidad de explorar, de mejorar las cosas y de innovar añade un toque de creatividad a la labor de quienes se encargan de la clausura, según Santiago Albarrán. “Uno debe estar preparado para lo inesperado y ha de tenerse siempre en cuenta toda una serie de soluciones”.

### Protección de las personas

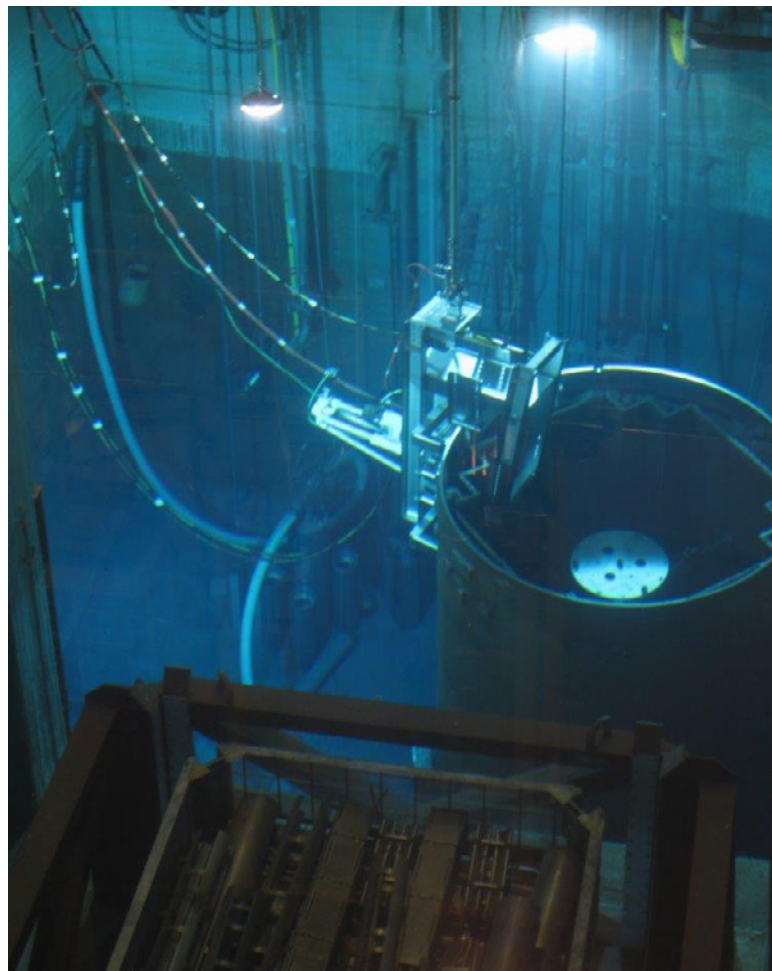
Reducir al mínimo la exposición de los trabajadores a la radiación es una prioridad durante la clausura. Para ello, Enresa ha examinado formas de proteger a sus trabajadores y ha descubierto que retirar los principales componentes de la central tras dividirlos en partes grandes, en vez de pequeñas, y transferirlos en grandes contenedores, puede acortar el tiempo de manipulación de los materiales por los trabajadores, reduciendo así la exposición.

“Fue difícil segmentar y embalar los desechos en grandes contenedores porque necesitábamos instrumentos nuevos”, afirma Santiago Albarrán, que prosigue: “Pero mereció la pena. Redujimos los costos y también las dosis de radiación de los trabajadores”.

Asimismo, la segmentación subacuática de la vasija del reactor y sus componentes ofrecía otra posibilidad de protección. El agua es una eficaz barrera natural contra los distintos tipos de radiación. Al emplearla de amortiguador, los especialistas podían permanecer junto a la parte superior de la piscina de combustible gastado y utilizar instrumentos mecánicos de control remoto para segmentar todas las partes internas del reactor bajo el agua. “Los fragmentos metálicos procedentes de las incisiones se quedan en el agua, que actúa de escudo,” explica Santiago Albarrán. “Al cortar grandes componentes contaminados bajo agua todo el proceso es más seguro para nuestros trabajadores y para el medio ambiente”.

### Llegar hasta el final

Cuando haya desmantelado todos los componentes, Enresa demolerá los edificios, descontaminará el emplazamiento y se asegurará de que se han retirado todos los desechos. A continuación, en la última etapa de la clausura, rehabilitará



**Segmentación subacuática de una vasija del reactor de la central nuclear José Cabrera.**

(Fotografía: Enresa)

el emplazamiento. “Una vez rehabilitado el emplazamiento, el organismo regulador habrá de verificar que no persiste un nivel de contaminación significativo antes de devolverlo a los propietarios, que podrán volver a utilizarlo entonces con otros fines”, indica Santiago Albarrán.

La clausura concluye una vez que el organismo regulador certifica que el emplazamiento ha dejado de presentar un riesgo para la seguridad de la población o el medio ambiente y que, por tanto, puede revocarse la licencia de explotación nuclear. “Se trata de dejar el emplazamiento limpio de contaminación a las generaciones futuras, es decir, de devolverlo a la sociedad para darle nuevos usos”, afirma Patrick O’Sullivan, especialista en clausura del OIEA.

## Entre bastidores: hablamos con un responsable de la clausura

Cuando se trabaja como responsable de la clausura de instalaciones, no hay dos días iguales. Hay instalaciones nucleares de distintas formas y tamaños, y cada una tiene su propio diseño exclusivo, por lo que los responsables de la clausura deben formular planes enormemente detallados y adaptados y, con frecuencia, crear soluciones nuevas e imaginativas para que el desmantelamiento pieza por pieza de una instalación se realice en condiciones de seguridad.

Para hacerse una idea de lo que implica el trabajo de un encargado de la clausura, la editora colaboradora del OIEA, Nicole Jawerth, se entrevistó con Steven Slater, Jefe del Programa de Proyectos de Clausura y Restauración de Emplazamientos en el emplazamiento de Sellafield (Reino Unido), donde hay varias instalaciones de energía nucleoelectrica y plantas de reprocesamiento activas y en régimen de parada, almacenes de desechos nucleares, y laboratorios de investigación y desarrollo nuclear. El Sr. Slater es responsable de la gestión y la clausura en condiciones de seguridad de más de 150 instalaciones nucleares y tiene a su cargo más de 500 empleados en Sellafield.

### ¿Qué diferencias hay entre las tareas de un responsable de la clausura y las de un operador?

Yo soy responsable del mantenimiento de las instalaciones en condiciones de seguridad hasta que iniciamos las actividades de clausura. A partir de entonces soy responsable de la gestión sin riesgos del proyecto de clausura y la retirada del material radiactivo. El objetivo principal de mi trabajo consiste en retirar de forma segura los materiales radiactivos residuales que pueda haber tras la fase de limpieza posterior a la etapa de explotación y garantizar que los materiales restantes son seguros para su disposición final a largo plazo.

Parte de las labores de clausura que realizo resultan completamente ajenas a un operador. Me encargo de exponer el inventario, recuperarlo y acondicionarlo en una forma segura y pasiva. Un operador consideraría esas tareas muy extrañas porque su trabajo consiste principalmente en mantener confinados los materiales radiactivos en todo momento, durante todo el proceso y a lo largo de toda la vida útil de una explotación nuclear.

La diferencia fundamental entre la clausura y la explotación es que la primera depende de un proyecto, tiene un comienzo y un final definidos. La explotación está orientada a los procesos y va avanzando de un proceso al siguiente.

### ¿Cuál es el desafío mayor o más importante de su trabajo?

Los planos de las instalaciones, por su antigüedad, con frecuencia no son como cabría esperar, y los problemas heredados relacionados con defectos causados por el tiempo suelen plantear desafíos. Nos encantaría que las instalaciones fueran exactamente iguales a los planos, pero algunas tienen



Steven Slater, Jefe del Programa de Proyectos de Clausura y Restauración de Emplazamientos, Sellafield Site Ltd., Reino Unido

casi 50 años, y en el transcurso de esos 50 años de uso se han modificado muchísimas veces. Nuestras instalaciones no son como sería previsible según los planos y los registros. Por tanto, cada vez que vamos a una de esas instalaciones, nos adentramos en un viaje a lo desconocido.

### ¿Cómo ha cambiado el proceso de clausura con el transcurso de los años?

Hemos cambiado de una clausura íntegramente a distancia a un sistema en el que se utiliza más una interfaz persona-máquina. Hubo un momento en que estábamos muy ilusionados con las clausuras totalmente a distancia, pero esas tareas añaden una escala, una complejidad y unos costos que, con frecuencia, resultan prohibitivos. A veces todavía hemos de recurrir a la clausura a distancia pero, cuando tenemos la oportunidad, ahora hacemos lo que denominamos “clausura



**En ciertos casos, las labores manuales de un responsable de la clausura pueden ser la opción más rápida y eficaz.**

(Fotografía: Sellafield Ltd., Reino Unido)

semipresencial”, en la cual una persona entra en una zona, instala la herramienta y la maneja desde una estación a distancia. Esto significa que esa persona no está en la zona de peligro, pero sí está presente y puede observar y hacer modificaciones a medida que transcurre el proceso. Eso ha supuesto un auténtico cambio para nosotros en los últimos diez años.

La otra cosa que hemos hecho es abandonar la clausura de zonas amplias en favor de un enfoque más táctico. Algunas de estas celdas y zonas pueden ser hasta del tamaño de un campo de fútbol. En otros tiempos sí entrábamos efectivamente en las instalaciones y hacíamos una clausura a gran escala, pero así nos enfrentábamos a una propagación de la contaminación en toda la zona expuesta. Ahora, optamos por una clausura más táctica, en la cual tratamos cada zona individualmente y colocamos una estructura de contención local en torno a ella, tras lo cual avanzamos hasta la sección siguiente. Eso impide que la contaminación se propague por toda la estructura. En realidad, se trata de un método de clausura más quirúrgico.

### **¿Qué tipo de innovaciones han hecho? ¿Cómo encajan en el futuro de este ámbito?**

Introducimos innovaciones constantemente. Hace poco hemos elaborado lo que denominamos *laser snake* (serpiente láser). Se trata de un brazo robótico flexible controlado por cables que puede moverse fácilmente en espacios reducidos y entornos con muchos obstáculos. La auténtica ventaja de este equipo es que sus herramientas permiten que el “brazo” realice todo tipo de actividades, desde la inspección hasta la limpieza, pasando por el corte por láser. Así, una vez que se introduce el brazo por una abertura celular existente, la técnica de corte por láser permite dividir más fácilmente componentes de difícil acceso y, con frecuencia, radiactivos. Con ello se impide el contacto

directo del operador lo que, a su vez, reduce al mínimo la exposición humana.

También estamos colaborando con REACT Engineering, una empresa asociada de nuestra cadena de suministro, con la cual hemos estado desarrollando enfoques de caracterización a distancia. Por ejemplo, hemos tomado un dispositivo de exploración y lo hemos acoplado a un dron que hemos dirigido al interior de una celda radiactiva. De esa forma podemos hacer fotografías tridimensionales del interior de la celda. A continuación, superponemos el mapa radiológico para obtener una imagen visual clara de lo que hay dentro de la celda antes de comprometernos a poner a trabajar a una persona. Es una de las formas en que reducimos la exposición de los trabajadores a la radiación.

Cada vez se utilizan más los drones con fines de caracterización. En el futuro, a medida que comencemos a trabajar en algunas de las instalaciones más problemáticas y lleguemos a zonas en las que, simplemente, no podemos exponer a los trabajadores, las técnicas de clausura a distancia y los drones se irán utilizando muchísimo más. Probablemente este tipo de tecnologías y otras innovaciones creativas seguirán evolucionando y nos ayudarán a encontrar nuevos medios para realizar las clausuras y adaptarnos a los nuevos desafíos.

### **¿Qué lugar ocupa el OIEA en su labor y en las tareas de clausura?**

Sellafield es uno de los emplazamientos más peligrosos de Europa Occidental en lo que respecta al inventario. Colaboramos con numerosos expertos de toda la comunidad nuclear, con los que intercambiamos experiencias y técnicas a fin de mejorar las labores de clausura. El OIEA es una fuente de apoyo y colaboración permanente tanto para nosotros como para otros interesados en esta esfera.

# Desterrar un legado tóxico: restauración ambiental de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central

Andrew Green

Existen aproximadamente 60 emplazamientos de producción de uranio abandonados repartidos por el territorio de Kazajistán, Kirguistán, Tayikistán y Uzbekistán que representan un peligro para el medio ambiente y los habitantes de las zonas rurales de esos países. Cada uno de los emplazamientos constituye un desafío para los gobiernos locales y nacionales que carecen de conocimientos especializados y de recursos para llevar a cabo la restauración.

en emplazamientos dispersados por la región. Debido a la falta de fondos, añade, las actividades realizadas durante el último decenio se han centrado principalmente en las medidas de protección del público y el medio ambiente a corto plazo.

## Desafíos para Kirguistán

Según el Ministerio para Situaciones de Emergencia de la República Kirguisa, este país tiene 35 vertederos de colas y 25 emplazamientos con pilas de roca estéril, muchos de los cuales contienen residuos tóxicos. Según Asel Seitkazieva, Directora Adjunta del Ministerio, el mayor riesgo para el entorno circundante es la posibilidad de inestabilidad sísmica, como corrimientos de tierras que puedan dispersar esos residuos.

Teniendo esto presente, el Gobierno considera que los antiguos emplazamientos de producción de uranio de Mailuu-Suu (punto (1) en el mapa) y de Min-Kush (punto (2) en el mapa) tienen máxima prioridad en cuanto a la restauración.

En el emplazamiento de Min-Kush, que está en el centro del país, las autoridades kirguisas han recibido asistencia para la planificación de la restauración ambiental y la ejecución de proyectos del Grupo de Coordinación para Antiguos Emplazamientos de Producción de Uranio (CGULS) del OIEA. Por medio de los proyectos de cooperación técnica del OIEA, especialistas del Ministerio de Salud del país, la Academia Nacional de las Ciencias y la Agencia Estatal para la Protección del Medio Ambiente también han aprendido a utilizar la espectrometría alfa y gamma para evaluar y monitorizar los niveles de radiación.

Si bien se están empezando a elaborar los planes de restauración, todo el emplazamiento de Min-Kush sigue en mal estado debido a la falta de fondos y todavía no se han llevado a cabo actividades de restauración. No obstante, con el inicio de la transferencia de las colas a emplazamientos más seguros y la labor desempeñada para su rehabilitación, ya se ha realizado el trabajo preliminar para la futura restauración. Una vez se disponga de financiación, se llevará a cabo la transferencia física de los desechos y se volverá a cultivar el emplazamiento, declara Seitkazieva.



●: Antiguos emplazamientos de producción de uranio en Kirguistán.

①: Mailuu-Suu ②: Min-Kush

(Fuente: Ministerio para Situaciones de Emergencia, Kirguistán)

Los emplazamientos se utilizaron para producir uranio hasta los años 90. Se construyeron antes de que existiera una infraestructura de reglamentación adecuada que asegurara la futura clausura, por lo que los restos de residuos con contaminantes radiactivos de período largo y contaminantes químicos muy tóxicos siguen suponiendo un riesgo importante para la salud del público y el medio ambiente.

John Rowat, Jefe de la Dependencia de Clausura y Restauración del Departamento de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física del OIEA, señala que, según algunas estimaciones, la cantidad de residuos procedentes de la producción de uranio en Asia Central —como roca estéril y colas— asciende a unos mil millones de toneladas. Muchos de estos materiales están almacenados de forma que no es segura



**El antiguo emplazamiento de producción de uranio de Min-Kush está situado en una zona propensa a corrimientos.**

(Fotografía: OIEA)

### **Progresos realizados y lecciones aprendidas en Mailuu-Suu**

Los corrimientos, las inundaciones y el posible fallo de las barreras de contención también son motivo de preocupación en el emplazamiento de Mailuu-Suu, donde se encuentran grandes cantidades de contaminantes radiactivos residuales. No obstante, se está avanzando. Con la asistencia del OIEA y a petición del Gobierno de Kirguistán, la Comunidad de Estados Independientes y la Comisión Europea proporcionan ayuda internacional para la restauración de antiguos emplazamientos de producción de uranio.

En total se han restaurado y cultivado parcialmente 36 depósitos de desechos y de colas de tratamiento, y varios lugares propensos a corrimientos cerca de depósitos de colas han sido objeto de mejoras y reconversión a fin de reducir la probabilidad de impactos sísmicos. Muchos de estos proyectos no se han finalizado, y muchas de las minas que deben restaurarse se encuentran en malas condiciones debido a la falta de fondos. Como en el caso del emplazamiento de Min-Kush, dice Rowat, deben establecerse programas de monitorización y vigilancia periódicas, así como mejores medidas de comunicación con el público y de control institucional.

### **¿Qué pueden sacar los países vecinos de la experiencia de Kirguistán?**

Según Seitkazieva, la experiencia de Kirguistán con las actividades de restauración que cuentan con apoyo

internacional puede ser útil para los países vecinos que están trabajando en proyectos similares.

Tayikistán y Uzbekistán, por ejemplo, han logrado, de manera muy similar a Kirguistán, que el Programa de Cooperación Técnica del OIEA participara en la compra de equipos de laboratorio, la organización de actividades de capacitación para el personal y la prestación de asistencia en los ejercicios de caracterización de emplazamientos. Seitkazieva dice que la experiencia positiva de Kirguistán con el OIEA podría constituir una útil hoja de ruta para futuras actividades internacionales de restauración, en especial al buscar modos de ejecutar programas en el contexto de los marcos reguladores nacionales existentes.

Con frecuencia, los Estados Miembros de Asia Central tienen problemas comunes en el ámbito de la restauración. Por ejemplo, el valle de Fergana es una divisoria de aguas que abarca Kirguistán, Tayikistán y Uzbekistán, y una región agrícola preciada por los tres países, pero antiguos emplazamientos de producción de uranio invaden el valle y amenazan con contaminarlo con sustancias tóxicas.

“El valle de Fergana es un buen ejemplo de por qué es importante adoptar un enfoque regional con respecto a la restauración de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central para complementar los programas específicos para cada país,” dice Rowat. “Los tres países, Kirguistán, Tayikistán y Uzbekistán, utilizan los recursos hídricos del valle.”

# De mina de uranio a lago de pesca: restauración ambiental de la región francesa de Lemosín

Aabha Dixit



## Antes y después: restauración ambiental en la región francesa de Lemosín.

(Fotografía: AREVA, Francia)

Los lagos artificiales, zonas de pesca y granjas solares se reparten por todo el territorio de la región francesa de Lemosín, donde las actividades relacionadas con el uranio poco a poco han ido llegando a su fin. Esta transformación no habría sido posible sin la participación de las partes interesadas, sin procesos transparentes y sin actividades bien coordinadas, señala Yves Marignac, coordinador del Grupo de Expertos Pluralista (GEP), que participó en las actividades de restauración de la región. La población local desempeñó una importante función consultiva durante la ejecución del programa de restauración ambiental, y ahora los antiguos emplazamientos de extracción se utilizan como zonas recreativas.

“La adopción de un enfoque basado en las consultas para la gestión de la restauración fue el elemento clave que nos permitió contar con el apoyo de la población cuando tuvimos que ocuparnos del cierre de los emplazamientos de extracción de uranio en Lemosín,” manifiesta Marignac, quien añade que, excepcionalmente, las organizaciones no gubernamentales

(ONG) fueron los propulsores de la ampliación del alcance de la restauración ambiental.

Un factor importante para el éxito de cualquier proyecto de restauración es la participación del público en el proceso de adopción de decisiones. Las comunidades locales, que son las más interesadas en el éxito de la restauración ambiental, necesitan respuestas satisfactorias acerca de por qué, cuándo y cómo les afectará la restauración. “Su implicación es fundamental y necesaria para garantizar que las decisiones sean socialmente aceptables y sólidas desde el punto de vista técnico,” declara Marignac.

## La participación del público

En un primer momento, la organización responsable de los trabajos de restauración, AREVA, no dio mucha publicidad a su plan, explica Marignac. No obstante, puesto que ONG y expertos estaban realizando evaluaciones independientes de los residuos radiactivos, los responsables de las actividades de

restauración rápidamente ampliaron el alcance de los trabajos para tener en cuenta las preocupaciones del público. Eso fue posible, señala Marignac, gracias a una mayor participación del público en el proceso de adopción de decisiones.

Actuando con decisión y celeridad, las autoridades francesas crearon el GEP para fomentar el diálogo mediante la participación de expertos de los colectivos interesados a fin de examinar y abordar sin reservas las cuestiones relativas a la restauración de las minas cerradas. Este diálogo interactivo también sirvió de plataforma para debatir sobre actividades prioritarias de restauración y sobre sensibilización.

El GEP estaba integrado por más de 30 expertos de experiencia diversa, comprendidos expertos independientes y de instituciones francesas y extranjeras, asociaciones y grupos industriales.

Todos ellos participaron en aspectos técnicos y operacionales específicos del programa de ejecución de la restauración.

El plan de restauración ambiental presentado al GEP preveía proteger las zonas alrededor de las minas cerradas, construir

emplazamientos especiales de disposición final, retirar y cubrir las rocas contaminadas y adoptar medidas especiales para descartar el riesgo de que elementos radiactivos se filtraran en el sistema hidrológico. “La contaminación del sistema de drenaje debido a las pilas de roca estéril generó especial preocupación. El agua se debía recoger y tratar antes de su liberación para el consumo público,” dice Marignac. En algunas zonas todavía se están llevando a cabo actividades de monitorización y gestión del agua.

El Instituto de Radioprotección y Seguridad Nuclear y el Instituto Nacional de Medio Ambiente Industrial y de Riesgos ofrecieron orientación y apoyo en relación con las actividades de restauración. También se consultó a expertos internacionales del OIEA, Bélgica, Israel, Luxemburgo, Suiza y el Reino Unido.

Actualmente, en los antiguos emplazamientos de extracción de uranio apenas se pueden apreciar las actividades pasadas y estos se integran perfectamente con los paisajes que los rodean.

## Actividades de restauración

Una vez cerradas las minas de uranio de la región de Lemosín, se elaboraron estrategias de gestión, comprendida una metodología que se ajustaba a la ley francesa de 2006 sobre la gestión sostenible de los materiales y desechos radiactivos.

A la Dirección Regional de Industria, Investigación y Medio Ambiente (DRIRE) y la Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN) se les encomendó la tarea de supervisar e implementar el proceso de restauración. Los objetivos principales eran asegurar la transparencia del proceso, garantizar la seguridad del público y sellar todas las fugas y otro tipo de contaminación procedente del cierre de las minas, señala Marignac.

Las autoridades también evaluaron el estado de las minas de uranio, incluidas las actividades de extracción realizadas, la situación de las pilas de roca estéril, los embalses de colas de tratamiento, los sistemas de recogida y tratamiento de aguas, la determinación de los emplazamientos de disposición final para sedimentos contaminados y la posible reutilización de roca estéril.

Asimismo, se examinó la información sobre las repercusiones para el ecosistema local, la evaluación de la exposición

a la radiación de los trabajadores, la monitorización de emisiones radiactivas al medio ambiente y propuestas de medidas correctivas.

Entre 2006 y 2008 se adoptaron medidas prioritarias tales como la transferencia segura de desechos radiactivos y no radiactivos a emplazamientos de disposición final, el transporte seguro de desechos radiactivos y la garantía de la aplicación de medidas jurídicas estrictas para la protección del público y el medio ambiente.

El público también tuvo acceso al inventario elaborado por el Gobierno en el que figuraban las minas de la región y los detalles sobre los desechos radiactivos que se debían someter a disposición final, señala Marignac.

Con la restauración de los emplazamientos, las autoridades francesas de la región de Lemosín trataron de reducir al mínimo el impacto residual de las antiguas actividades de minería, y hacer que el emplazamiento volviera a formar parte del paisaje. Asimismo, a fin de lograr que la zona fuera segura para el uso público, se realizaron pruebas rigurosas de monitorización radiológica y del medio ambiente y se procedió a un amplio tratamiento de las aguas.

# Misiones del OIEA examinan las actividades de clausura en la central nuclear de Fukushima Daiichi

El 11 de marzo de 2011, un terremoto masivo y un tsunami provocaron un enorme accidente en la central nuclear de Fukushima Daiichi en el Japón, el peor accidente nuclear del mundo desde Chernóbil, en 1986. En la central se están llevando a cabo actividades de retirada del combustible y de estabilización y limpieza posteriores al accidente con objeto de que, a su debido tiempo, pueda iniciarse el desmantelamiento activo.

En los cinco años transcurridos desde el accidente, a petición del Gobierno del Japón, el OIEA ha enviado más de diez misiones de expertos para asesorar al país sobre diversos ámbitos, tres de ellas sobre los aspectos de tecnología y seguridad de la clausura y la restauración.

El objetivo de las misiones de examen por homólogos de la clausura era ofrecer una evaluación independiente de las actividades relacionadas con la planificación y la ejecución de la clausura de la central.

En la misión más reciente, de febrero de 2015, participaron 15 expertos internacionales que facilitaron un examen independiente de la clausura con arreglo a las normas de seguridad del OIEA y otras buenas prácticas pertinentes. Los informes de esos exámenes por homólogos pueden consultarse en el sitio web del OIEA, [www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima](http://www.iaea.org/newscenter/focus/fukushima).

En agosto de 2015, el OIEA publicó el informe del Director General titulado *El accidente de Fukushima Daiichi*, junto con cinco volúmenes técnicos elaborados por expertos internacionales en los que se evaluaban la causa y las consecuencias del accidente. Esta publicación reúne las enseñanzas extraídas del accidente y es un recurso valioso para todos los países que utilizan la energía nucleoelectrónica o que tienen previsto utilizarla. Uno de los volúmenes trata la recuperación después del accidente, incluidas la clausura y la restauración ambiental.

Las fotografías siguientes documentan la misión de clausura más reciente del OIEA, en febrero de 2015.

Depósitos de agua contaminada frente a los edificios de reactores de Fukushima Daiichi.







El equipo de clausura del OIEA escucha una explicación sobre el funcionamiento de un sistema de purificación que elimina casi todos los elementos radiactivos del agua contaminada.



Expertos del equipo de la misión del OIEA se preparan para visitar el emplazamiento.



Un experto del equipo de la misión del OIEA mira la piscina de combustible gastado vacía.

Los miembros del equipo del OIEA de examen de la clausura caminan junto a la estructura de la Unidad 4.

El equipo del OIEA observa un sistema de purificación que elimina casi todos los elementos radiactivos del agua contaminada.



(Fotografías: S. Lööf, OIEA)

# DE LA PLANIFICACIÓN A LA CLAUSURA: EL



## PLANIFICACIÓN



1

La clave del éxito de la clausura es planificar y analizar atentamente todos los aspectos del proyecto, sin olvidar la financiación y la concesión de licencias.

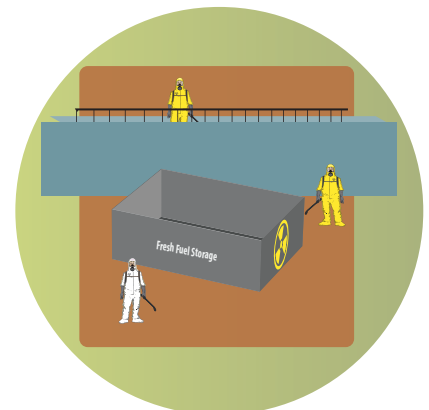
## CARACTERIZACIÓN FÍSICA Y RADIOLÓGICA



2

Los expertos necesitan tener una idea clara de las características de la instalación y los niveles de radiación previsible.

## DESCONTAMINACIÓN



3

Los trabajadores descontaminan los materiales, lo que reduce significativamente la cantidad de desechos radiactivos.

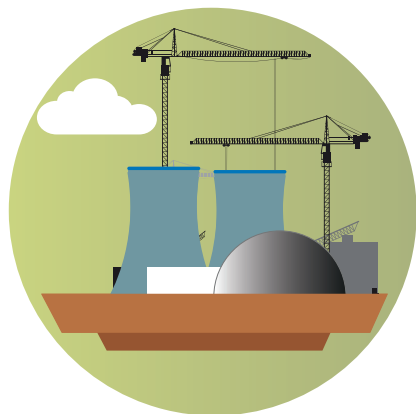
# CICLO DE UNA CENTRAL NUCLEAR

NTO  
OS

**CLAUSURA**  
10 a 20 años

Quando una instalación deja de tener una utilidad social o económica, es preciso desmantelarla y preparar el emplazamiento para otros usos. El proceso de clausura consta de las seis fases siguientes.

## DESMANTELAMIENTO Y DEMOLICIÓN



4

Todos los edificios, muros y componentes se dividen en pedazos, se organizan y se reciclan. Los desechos radiactivos se tratan por separado y se envían para su almacenamiento o disposición final.

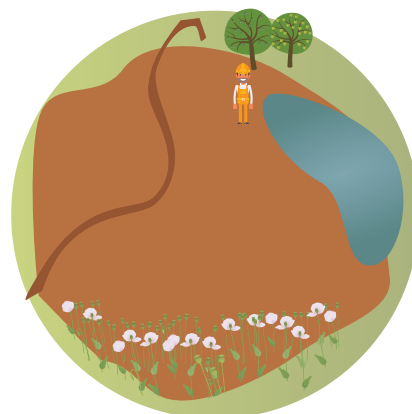
## PREPARACIÓN PARA LA REUTILIZACIÓN



5

Los trabajadores preparan el emplazamiento para su reutilización.

## RECONOCIMIENTO FINAL Y FIN DEL CONTROL REGLAMENTARIO



6

Una vez restaurado el emplazamiento, el regulador lo verifica y confirma que no hay un nivel de contaminación significativo; el emplazamiento puede reutilizarse.

# La clausura de los reactores de investigación no es ninguna tontería

Miklos Gaspar



El 24 de septiembre de 2015, el combustible de uranio muy enriquecido (UME) líquido irradiado se retiró de un reactor de investigación del Complejo Tecnológico y de Radiación de Tashkent (Uzbekistán) y se repatrió a Rusia.

(Fotografía: S. Tozser, OIEA)

A fin de obtener el permiso para construir un reactor de investigación, los aspirantes a explotadores deben presentar un plan inicial de clausura para cuando tengan que parar la nueva instalación en el futuro. Sin embargo, este requisito no existía en las décadas de 1950, 1960 y 1970, cuando se construyeron la mayoría de los reactores de investigación que ahora se aproximan al final de su vida útil. Resultado: muchos reactores fuera de uso siguen inactivos en medio de campus universitarios, parques de investigación y recintos hospitalarios porque los explotadores carecen de planes adecuados para clausurarlos.

“Nuestro reactor de investigación acaba de recibir la licencia para proseguir sus operaciones durante unos años más, por lo menos, pero tenemos que decidir lo que vamos a hacer con él después”, indica Ketut Kamajaya, investigador responsable de la clausura del reactor de investigación Triga-2000 de Bandung (Indonesia).

## Quedan 180

A finales de 2015 había 246 reactores de investigación en explotación en 55 países y más de 180 que estaban en régimen de parada o en fase de clausura, según el *Examen de la*

*Tecnología Nuclear de 2016* del OIEA. Más de 300 reactores de investigación y conjuntos críticos han sido clausurados completamente. En torno a la mitad de los reactores de investigación en explotación tienen más de 40 años, por lo que la gestión del envejecimiento y la clausura son ahora desafíos clave para la comunidad de los reactores de investigación.

Muchos países carecen del marco institucional, jurídico y de reglamentación, de los conocimientos especializados y de la infraestructura técnica necesarios para la clausura, en opinión de Vladan Ljubenov, especialista en seguridad de los desechos del OIEA. “Los países que no tienen un programa de energía nucleoelectrónica suelen tener bastante menos conocimientos especializados en materia de clausura y, con frecuencia, carecen de instalaciones para gestionar los desechos, excepto los de actividad baja”. Aunque es cierto que gran parte de los desechos de la clausura de un reactor de investigación serán de actividad baja, los países también han de ocuparse de las pequeñas cantidades de desechos de actividad media y alta generados.

A veces, los países también carecen de los fondos necesarios para la clausura, aunque a largo plazo ahorrarían dinero si clausuraran de inmediato instalaciones que ya no pueden usar, opina Vladimir Michal, Jefe del Equipo de Clausura y

Restauración Ambiental del OIEA. A menos que el regulador haya otorgado una licencia para la clausura de un reactor, se siguen aplicando los reglamentos de seguridad tecnológica y física para los reactores en funcionamiento aunque el reactor no esté en uso e incluso, tal vez, ni siquiera le quede combustible. Según Michal “con el tiempo, respetar los requisitos reglamentarios es más costoso que morder la bala y proceder a la clausura. Es mejor y más seguro estar sujeto a un régimen de clausura que en el limbo”.

## Clausura rápida

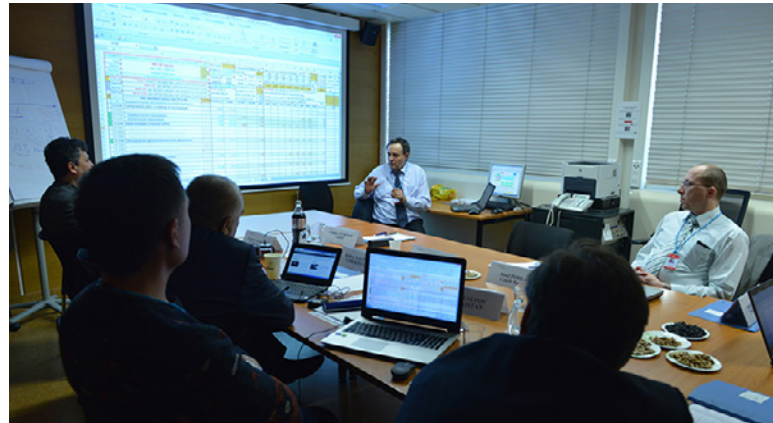
Kamajaya dice que este es el enfoque que está adoptando Indonesia. Ya existen planes para trasladar la producción de isótopos médicos de Bandung a las dos otras instalaciones de reactores nucleares del país. La capacitación de científicos en materia de física de reactores y termohidráulica también se traspasará a las otras ubicaciones. “Una vez que paremos el reactor, queremos clausurarlo cuanto antes”, dijo. A fin de preparar la clausura, los expertos de los explotadores han participado en varios proyectos de cooperación técnica del OIEA y han tenido la oportunidad de observar actividades de clausura en curso en Australia y Bélgica.

En Uzbekistán, el Gobierno decidió proceder a la parada permanente de su reactor de investigación en el Instituto de Física Nuclear de Tashkent en julio de 2016 y comenzar la clausura en cuanto fuera viable, según Umar Salikhbaev, Director del Instituto de Física Nuclear, quien dijo: “Estamos colaborando muy estrechamente con el OIEA en el plan preliminar de clausura, que pensamos presentar al Gobierno en mayo”. Esto se produce tras la clausura del reactor de investigación FOTON de Tashkent, que comenzó el año pasado y cuya culminación está prevista para mediados de 2017. El combustible del reactor se repatrió a Rusia en el marco de un programa coordinado por el OIEA en septiembre del año pasado (véase la fotografía de la página 16).

## Reactores viejos y nuevos

Varios explotadores desearían construir reactores de investigación nuevos y técnicamente más avanzados que los de la generación anterior. En opinión de Ljubenov, les resultará más fácil obtener la licencia reglamentaria y ganarse la confianza del público para un nuevo reactor de investigación si demuestran que han clausurado adecuadamente el anterior. Según él, el emplazamiento de la instalación anterior también sería la ubicación natural para la nueva.

En algunos aspectos, la clausura de los reactores de investigación es más compleja que la de los reactores de potencia, pese a su menor tamaño, pues con frecuencia están



**Los ingenieros responsables del reactor de investigación operado por el Instituto de Física Nuclear de Uzbekistán reciben asesoramiento de expertos internacionales y del OIEA sobre la preparación de un plan de clausura.**

(Fotografía: D. Calma, OIEA)

ubicados dentro de un campus universitario o un instituto de investigación, rodeados de otras instalaciones y edificios en uso. Los reactores de investigación tal vez tengan conexiones y compartan sistemas con laboratorios u otras instalaciones de investigación, por ejemplo, tanques de almacenamiento de desechos. “¿Dónde están los límites del reactor? ¿Qué se ha de clausurar y qué se puede conservar? La respuesta no siempre es obvia”, dice Ljubenov.

## Los reglamentos adecuados

El OIEA también brinda apoyo a los reguladores, de manera que puedan preparar el marco jurídico del país para la clausura. “Al tener solamente tres reactores de investigación y ningún reactor de potencia, somos demasiado pequeños como para elaborar nuestras propias directrices”, explica Reno Alamsyah, Funcionario Superior de Reglamentación del Organismo de Reglamentación de la Energía Nuclear de Indonesia (BAPETEN). El OIEA ha impartido capacitación al personal del BAPETEN sobre la elaboración de legislación y directrices, y también ayudará a revisar el plan de clausura cuando se presente.

Tras la capacitación inicial, el personal tanto de Indonesia como de Uzbekistán considera que está mejor preparado para las futuras actividades de clausura, ya sean en su país o en el extranjero. “Hay dos reactores más en Indonesia y, aunque por ahora funcionan al máximo, también llegará el momento en que haya que clausurarlos”, indica Kamajaya.

En Uzbekistán, los expertos del Instituto de Física Nuclear han comenzado hace poco a trabajar en la preparación del plan de clausura del segundo reactor de investigación del país. “Podemos reutilizar gran parte del material y de los conocimientos adquiridos la primera vez”, dice Salikhbaev.

# Promover el conocimiento, mejorar la seguridad: servicios del OIEA para la clausura y la restauración ambiental

La eliminación en condiciones de seguridad tecnológica y física de las instalaciones nucleares una vez que han alcanzado el final de su vida útil y la preparación de los emplazamientos para su reutilización en el futuro son tareas que exigen una planificación y una ejecución minuciosas. El OIEA ofrece a los Estados Miembros una amplia gama de servicios relacionados con la clausura y la restauración ambiental, desde el asesoramiento jurídico, técnico y de reglamentación, pasando por la creación de capacidad y la capacitación, hasta el mantenimiento de redes para el intercambio de información. Sus servicios también brindan asistencia a los Estados Partes en la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, que exige a las Partes que informen sobre la seguridad de las actividades de restauración y clausura.

En este artículo se ofrece una visión general de esos servicios.



**Emplazamiento donde se realizan actividades de restauración en Australia.**

(Fotografía: OIEA)

## Servicio de examen ARTEMIS

El OIEA ha creado un Servicio de Examen Integrado para la Gestión de Desechos Radiactivos y de Combustible Gastado, la Clausura y la Restauración, denominado ARTEMIS. Se puso en marcha en 2014 y está dirigido a los explotadores de instalaciones y otras organizaciones responsables de la gestión de desechos radiactivos, la clausura de instalaciones nucleares y la restauración de emplazamientos contaminados con material radiactivo.

Este servicio está a disposición de los órganos reguladores, los organismos gubernamentales y los encargados de elaborar políticas a nivel nacional, y puede abarcar los marcos de políticas y reglamentación institucionales o nacionales existentes o previstos, así como los programas, proyectos o instalaciones conexos de gestión de desechos. Los exámenes también pueden consistir en evaluaciones detalladas de la ejecución de programas específicos de clausura o restauración ambiental y el asesoramiento técnico al respecto.

## Talleres y cursos de capacitación

La planificación y ejecución de programas de clausura y restauración ambiental dependen de la disponibilidad de un número suficiente de profesionales con las cualificaciones y la experiencia necesarias, tanto en las organizaciones de ejecución como en las reguladoras.

El OIEA imparte cursos de capacitación, organiza talleres, lleva a cabo misiones de expertos y ofrece becas con cargo a su programa de cooperación técnica a fin de brindar asistencia en el desarrollo de conocimientos técnicos y especializados. Los cursos de aprendizaje en línea especializados complementan la capacitación presencial.

## Red Internacional de Clausura

La Red Internacional de Clausura (IDN) es un foro en el que los expertos pueden mejorar la cooperación e intercambiar conocimientos en materia de actividades de clausura. En ella se trata la clausura de todo tipo de instalaciones nucleares, como centrales nucleares, instalaciones del ciclo del combustible, reactores de investigación, antiguos emplazamientos de investigación y otras instalaciones en las que se utilizan radionucleidos con fines industriales, médicos o de investigación.

La Red organiza varias actividades de colaboración, como un foro anual para los participantes.

## Red de Gestión y Restauración del Medio Ambiente (ENVIRONET)

ENVIRONET promueve y facilita la colaboración entre países y organizaciones menos experimentados y otros con más experiencia, con miras al intercambio de conocimientos y la ejecución de proyectos de restauración ambiental.

Esta red ofrece una amplia variedad de actividades de capacitación y demostración diversificadas con un enfoque regional o temático que aportan experiencia práctica orientada a los usuarios y difunden tecnologías de validez comprobada.

### **Conexión de la Red de Redes para Fomentar la Comunicación y la Capacitación (CONNECT)**

CONNECT del OIEA es una plataforma basada en la web a disposición de los miembros de las redes profesionales y las comunidades de prácticas del Organismo cuyo objetivo es facilitar la colaboración y el intercambio de información y experiencia entre sus participantes, tanto dentro de la propia red como con otras redes.

CONNECT da servicio a 11 redes, entre ellas IDN y ENVIRONET, junto con redes relativas a la disposición final de desechos, la gestión del combustible gastado y la gestión de los conocimientos nucleares, entre otras.

### **Programa de Elaboración de Modelos y Datos para la Evaluación del Impacto Radiológico (MODARIA)**

La finalidad del Programa MODARIA es mejorar las capacidades en la esfera de la evaluación de la dosis de radiación ambiental mediante el uso de datos mejorados, el ensayo y la comparación de modelos, el logro de un consenso en torno a los enfoques y los valores de los parámetros relativos a la elaboración de modelos, el desarrollo de métodos mejorados y el intercambio de información.

Los resultados de las evaluaciones radiológicas se utilizan, por ejemplo, para medir la importancia radiológica de las emisiones ordinarias y accidentales de radionucleidos, respaldar el proceso de adopción de decisiones en relación con la labor de restauración, y evaluar el comportamiento de los desechos radioactivos sometidos a disposición final.

El Programa consta de diez grupos de trabajo dedicados a una variedad de cuestiones interrelacionadas, como las descargas ordinarias de radionucleidos al medio ambiente, la migración de radionucleidos en entornos rurales y urbanos contaminados, la dispersión de radionucleidos en sistemas marinos y la restauración de tierras contaminadas durante accidentes nucleares o como resultado de actividades escasamente reguladas en el pasado.

### **Otras iniciativas de colaboración**

En 2012, el OIEA estableció el Grupo de Coordinación para Antiguos Emplazamientos de Producción de Uranio (CGULS) a fin de ofrecer coordinación técnica para actividades nacionales y multilaterales en materia de restauración de antiguos emplazamientos de producción de uranio, principalmente en Asia Central.

Otro servicio, el Foro Internacional de Trabajo para la Supervisión Reglamentaria de Antiguos Emplazamientos (RSLS), se estableció en 2010 para fomentar la supervisión reglamentaria eficaz y eficiente de antiguos emplazamientos de conformidad con las normas de seguridad del OIEA y las buenas prácticas internacionales. Ofrece a los participantes la oportunidad de obtener experiencia práctica gracias a talleres internacionales dedicados a emplazamientos específicos. Este servicio incrementa la competencia técnica, refuerza la capacidad reguladora para la restauración y ayuda a formular estrategias nacionales eficaces para mejorar los procesos de adopción de decisiones en los países.

El Proyecto Internacional sobre la Gestión de la Clausura y la Restauración de Instalaciones Nucleares Dañadas (DAROD), puesto en marcha en enero de 2015, permite a los expertos aprender más sobre la experiencia extraída de la clausura y restauración de instalaciones nucleares dañadas por accidentes muy graves y aprovechar dicha experiencia. Abarca los aspectos de reglamentación, tecnológicos y de planificación de la clausura y la restauración.

El proyecto DAROD es una de las iniciativas emprendidas por el OIEA en el marco del Plan de Acción del OIEA sobre Seguridad Nuclear aprobado tras el accidente ocurrido en 2011 en la central nuclear de Fukushima Daiichi.

# Nuevas tecnologías de clausura y restauración

Vincent Fournier



**Es posible equipar a los drones con sensores y cámaras para obtener datos a distancia que ayuden a preparar las actividades de restauración ambiental.**

(Fotografía: R. Durán, OIEA)

Gracias a una serie de tecnologías de nuevo cuño y reciente aparición, las actividades de clausura y restauración son cada vez más rápidas, seguras y eficaces en relación con el costo. El uso de esas nuevas tecnologías va cada vez a más en todas las etapas del proceso, desde la de planificación hasta las de ejecución y control.

## Láseres y drones al servicio de una mejor planificación

Antes de poner en marcha las actividades de clausura y restauración ambiental, los especialistas deben planificar cada etapa del proceso, y para ello deben tener antes una idea clara de las características de la estructura y del nivel de radiación con el que previsiblemente se van a encontrar.

Aunque para la caracterización con fines de planificación cabe utilizar procedimientos manuales (trazar planos, tomar medidas, hacer fotografías...), las técnicas de escaneo por láser permiten ahora a los equipos encargados de la clausura cartografiar con mayor rapidez y exactitud las características físicas de los sistemas, estructuras y componentes de la instalación de que se trate. Ello se complementa con mediciones de gran sensibilidad efectuadas con dispositivos tecnológicamente muy sofisticados, como cámaras gamma teledirigidas capaces de determinar con precisión y eficacia la situación radiológica de la instalación, en particular la cantidad y el tipo de radiación. Una vez eliminada la contaminación se necesitan mediciones similares para

comprobar que los eventuales niveles de radiación residual sean realmente insignificantes.

Para los especialistas en restauración ambiental es cada vez más importante conocer en detalle la manera en que el entorno de un emplazamiento (y los contaminantes que pueda contener) va a comportarse y a evolucionar con el tiempo. Gracias a novedosas herramientas, como drones provistos de sensores, los especialistas pueden estudiar a distancia la superficie del emplazamiento, reuniendo así información que, combinada con los datos obtenidos sobre el terreno, puede ser útil para determinar el tipo de contaminantes presentes en el suelo, así como su concentración y distribución. Ello proporciona información “en alta resolución” sobre las características físicas y radiológicas del emplazamiento y sobre el comportamiento y la dinámica subyacentes del medio natural.

En ambos casos, una vez reunidos los datos es posible aplicar modernas técnicas de modelización tridimensional para generar detalladas reproducciones de la instalación o el emplazamiento y un mapa superpuesto de los niveles de radiación. Los programas informáticos de modelización también pueden servir en la restauración ambiental para simular el comportamiento de los contaminantes en el medio ambiente, lo que constituye una etapa básica a la hora de seleccionar y aplicar métodos seguros, sostenibles y rentables para la restauración y la gestión y vigilancia a largo plazo de un emplazamiento.



## Personas y robots

Las instalaciones nucleares están llenas de cavidades y recodos a los que a veces resulta difícil acceder, sin olvidar que algunas de sus zonas son sumamente radiactivas y por lo tanto peligrosas para todo trabajador que penetre en ellas. Los robots empiezan a ofrecer nuevas formas de sortear estas dificultades.

“Hay ciertas zonas de esas instalaciones a las que los trabajadores simplemente no pueden ir porque son demasiado pequeñas y angostas o demasiado radiactivas y peligrosas. Ahí es donde la robótica puede ser muy útil”, explica Vladimir Michal, Jefe de Equipo de Clausura y Restauración Ambiental del OIEA. “Las herramientas teledirigidas permiten medir la radiactividad, descontaminar centrales nucleares y en última instancia desmontar y manipular los componentes de la central evitando los riesgos que tendría que correr un ser humano”.

A medida que la tecnología avanza los robots son cada vez más pequeños, sofisticados y habilidosos, con lo que pueden operar en terrenos muy diversos y en condiciones ambientales extremas. Los brazos robóticos polivalentes, por ejemplo, pueden ser dirigidos a distancia por los trabajadores e ir equipados de herramientas como cortadores láser que sirvan, entre otras cosas, para desmantelar tuberías o componentes del reactor a los que sea difícil acceder.

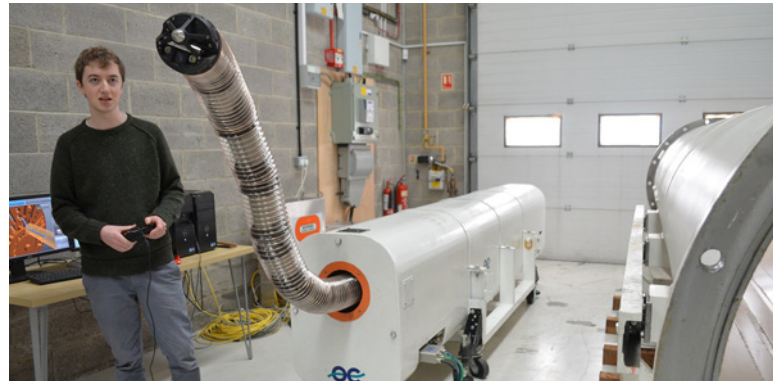
Las herramientas cortadoras teledirigidas también pueden funcionar bajo el agua, con el operador apostado en las cercanías pero protegido de la radiación por el escudo natural que ofrece el agua. Estos robots, al separar los componentes radiactivos en un medio acuático, ayudan a proteger a los trabajadores y evitan la emisión de partículas radiactivas suspendidas en el aire.

## La naturaleza innovadora

La innovación no siempre pasa por crear nuevos y complejos artilugios, y en este sentido apunta la “ingeniería natural”, que es un concepto nuevo en el ámbito de la restauración ambiental. En ciertas situaciones, la mejor solución de restauración no es necesariamente la que entraña costosas herramientas u operaciones químicas.

“En algunos casos dejar que la naturaleza siga su curso puede ser la mejor línea de actuación, pero ello requiere una comprensión y una predicción muy detalladas de los procesos ambientales que intervienen en el proceso. Solo en fechas muy recientes las herramientas informáticas y las técnicas de caracterización y vigilancia han cobrado potencia suficiente como para infundir mayor confianza en el uso de este método”, dice Horst Monken-Fernandes, especialista en restauración ambiental del OIEA.

La restauración a escala nanométrica, o nanorrestauración, es una nueva técnica en la que se utilizan diminutas estructuras artificiales, llamadas nanopartículas, para reducir eficaz y rápidamente las concentraciones de contaminantes en el suelo y las aguas subterráneas. Estas partículas, que son



**Este robot serpentiforme equipado con un cortador láser permite al equipo de clausura acceder a espacios angostos y zonas peligrosas.**

(Fotografía: Sellafield Ltd., Reino Unido)

unas 100 000 veces más pequeñas que el espesor de un cabello, poseen excelentes propiedades de almacenamiento, transporte, penetración y distribución. Gracias a ello es posible inyectarlas bajo la superficie de suelos o cursos de agua contaminados para que degraden o inmovilicen el contaminante. También pueden ser utilizadas para capturar contaminantes por medio de nanoestructuras que se comportan como un tamiz molecular. Esta técnica puede llegar a ofrecer una eficacia en relación con el costo muy superior a la de las técnicas convencionales, como la de excavación, utilizadas en restauración ambiental para cumplir los objetivos de limpieza.

## Un nuevo mundo de posibilidades

La innovación abre las puertas a nuevas posibilidades, pero también trae consigo nuevos requisitos en materia de formación. Una solución a este respecto radica en la realidad virtual. El mundo de las tres dimensiones (3D) brinda a los profesionales la oportunidad de familiarizarse directamente con cada etapa del proceso de clausura y restauración ambiental. Estas técnicas permiten, por ejemplo, determinar la secuencia de corte que conviene seguir o los niveles de radiación a los que puedan verse expuestos los trabajadores, así como las alternativas más eficaces para retirar componentes y embalar piezas de desecho troceadas o los posibles peligros existentes.

Aunque las nuevas tecnologías y las innovaciones pueden ofrecer un sinfín de ventajas, a menudo se requieren años para que su uso se vaya extendiendo hasta generalizarse, especialmente en países donde se trabaja con presupuestos y recursos muy ajustados. Gracias al apoyo que les presta el OIEA, los países pueden procurarse la información, la experiencia y la capacitación que necesitan en la materia.

“El OIEA tiene por ambición ayudar a los Estados Miembros a mejorar y mantener su capacidad para gestionar con puntualidad, seguridad y rentabilidad los proyectos de clausura y restauración”, afirma Michal.

# Clausura de instalaciones nucleares: la experiencia de Alemania

Boris Brendebach

Desde los años setenta hasta hoy, Alemania ha ido acumulando una notable experiencia en la clausura de instalaciones nucleares. Actualmente hay 16 centrales nucleares, dotadas de reactores de potencia o de prototipos, que se encuentran en distintas fases del proceso de clausura, y otros tres proyectos de clausura ya han llegado a su término (véase el mapa).

A raíz del accidente de la central nuclear de Fukushima Daiichi ocurrido en marzo de 2011, el Gobierno de Alemania decidió eliminar progresivamente, hasta su completa extinción, el uso de la energía nuclear para la producción comercial de electricidad. Aquella decisión se tradujo, el 31 de julio de 2011, en la introducción de una enmienda a la Ley de Energía Atómica de Alemania en virtud de la cual se retiraba la autorización de explotar instalaciones destinadas a la fisión de combustible nuclear para la producción comercial de electricidad a las siete centrales nucleares más antiguas y a la central de Krümmel a partir del 6 de agosto de 2011, y se fijaban las fechas en que expirarían las autorizaciones de las nueve centrales restantes con arreglo a un calendario gradual que culminaba en 2022.

A partir de ahí esas ocho centrales nucleares, que en 2011 entraron en régimen de parada, solicitaron la correspondiente licencia de clausura. Además el 27 de junio de 2015, casi medio año antes de la fecha inicialmente prevista, paró la central de Grafenrheinfeld. Con bastante antelación esa central había presentado una solicitud de clausura, al igual que la de Gundremmingen B, aún hoy en funcionamiento y que según el calendario previsto debe quedar parada a finales de 2017.

En el mapa adjunto se ofrece una visión general de las centrales nucleares de Alemania que están en proceso de clausura, de las que ya están desmanteladas y de aquellas otras que se encuentran en régimen de parada permanente, pero en espera de licencia de clausura, o todavía en funcionamiento pero con fecha de terminación ya fijada. Además de los reactores de potencia y los prototipos, están en régimen de parada y han sido o serán clausurados más de 30 reactores de investigación de diverso tamaño y más de diez instalaciones del ciclo del combustible nuclear.

Boris Brendebach es investigador asociado y jefe del equipo de expertos en clausura de la Sociedad para la Seguridad de Instalaciones y Reactores (GRS), que presta apoyo al Gobierno alemán en sus actividades de clausura y restauración.



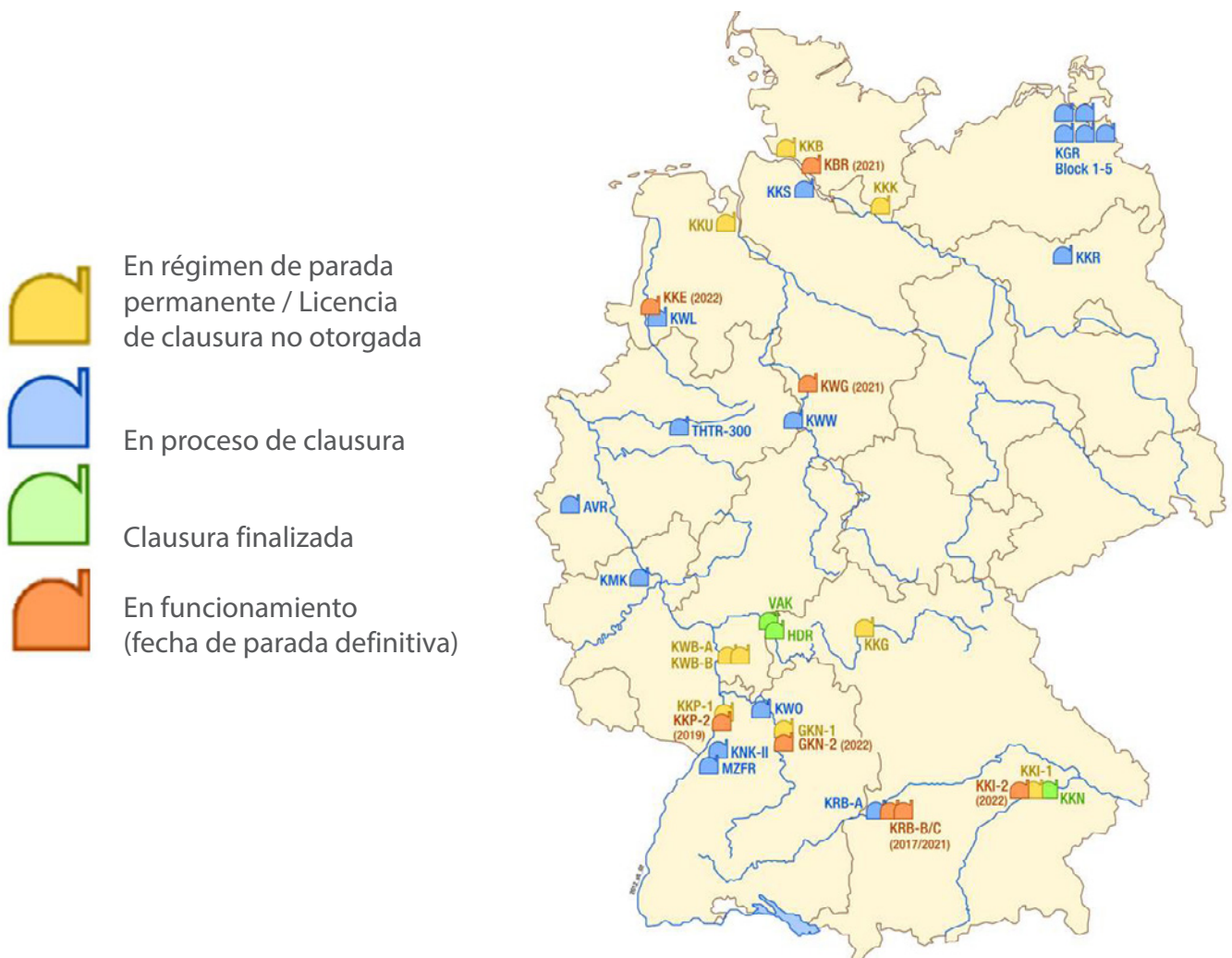
## Diversidad de forma y condición

Aunque en un mismo momento pueda haber muchos proyectos de clausura en marcha, cada uno de ellos reviste características únicas. El curso del proyecto, su financiación, la estrategia de clausura elegida y otras muchas circunstancias dependen del tipo de instalación y de quién sea su propietario:

- los reactores de potencia y las centrales de enriquecimiento de uranio y de fabricación de combustible pertenecen a los servicios de electricidad y a las empresas que operan en el sector;
- los reactores de investigación, los prototipos de reactor para la producción de electricidad y los prototipos de instalación del ciclo del combustible nuclear, por su parte, están ubicados en centros de investigación o universidades y cuentan con financiación pública;
- la clausura de las centrales de Greifswald y Rheinsberg, situadas en la ex Alemania Oriental, se financia con cargo al presupuesto federal, al igual que la clausura y la restauración de las instalaciones de extracción y procesamiento de uranio de Alemania Oriental.

En el ordenamiento jurídico que rige la clausura de instalaciones nucleares, derivado de la Ley de Energía Atómica, se estipula que la clausura está sujeta a la obtención de una licencia expedida por la autoridad competente. Con arreglo a la Ley de Energía Atómica, hay dos posibles procedimientos admitidos: el desmantelamiento inmediato o el desmantelamiento tras confinamiento seguro. La decisión de optar por una u otra estrategia incumbe a la entidad explotadora, y hasta ahora la mayoría de ellas se han inclinado por el desmantelamiento inmediato.

## Situación de los reactores de potencia de Alemania



(Fuente: Sociedad para la Seguridad de Instalaciones y Reactores [Alemania])

Para solicitar la licencia hay que presentar determinados datos y documentos a la autoridad competente del estado en el que se encuentre la instalación nuclear. En ellos se deben especificar, entre otras cosas, el procedimiento solicitado, las medidas de desmantelamiento previstas y las técnicas conexas que se aplicarán para ello, el impacto ambiental y las disposiciones en materia de protección radiológica. En la ordenanza de “Procedimiento de concesión de licencias nucleares”, contenida en la “Guía de clausura”, se ofrece información pormenorizada al respecto.

La autoridad competente del estado en cuestión supervisa el cumplimiento de los requisitos para las labores de clausura establecidos en la correspondiente licencia y comprueba que se cumplan tanto las condiciones especificadas para proceder a ese trabajo como las condiciones impuestas en la licencia. Asimismo, expertos independientes contratados por

la autoridad competente para secundar el proceso llevan a cabo inspecciones adicionales. Por otro lado, durante el proceso de supervisión se consignarán en detalle las técnicas y métodos especificados en la licencia y se elaborará un plan pormenorizado.

Lo que ahora queda por hacer en Alemania es culminar los proyectos de clausura que están en marcha y clausurar las instalaciones nucleares que aún están en funcionamiento una vez que lleguen al término de su vida operacional. El elevado número de proyectos de clausura simultáneos de grandes instalaciones que requiere la eliminación gradual de la energía nucleoelectrónica podría plantear problemas en cuanto a la disponibilidad duradera de competencias en todos los niveles (operadores, órgano regulador, entidades de apoyo técnico y proveedores).

# Tendencias actuales en la clausura y la restauración ambiental de instalaciones nucleares

Juan José Zaballa Gómez

La clausura y la restauración ambiental de instalaciones nucleares civiles son grandes desafíos para los países que las llevan a cabo en todo el mundo. Comprenden, entre otros, aspectos y problemas relacionados con la gestión, la tecnología, la seguridad y el medio ambiente.

En los últimos decenios, explotadores de todo el mundo han adquirido una importante experiencia en la clausura y la restauración ambiental de emplazamientos nucleares. Numerosas instalaciones nucleares han dejado de funcionar y se prevé que su número aumente considerablemente en los próximos años. Se han clausurado ya 17 reactores de potencia de los más de 150 que están en régimen de parada o en fase de clausura, mientras que más de 180 reactores de investigación están en régimen de parada o en fase de clausura y más de 300 se han clausurado ya por completo. Un total de 170 instalaciones del ciclo del combustible nuclear de otro tipo están en régimen de parada o en fase de clausura y 125 más se han clausurado por completo. España es uno de los países que tiene experiencia y que lleva a cabo actividades en esta esfera.

Se ha demostrado que es posible realizar actividades de clausura sin que ello acarree riesgos adicionales para la salud, la seguridad o el medio ambiente, y que es una actividad profesional avanzada.

Pero, ¿cuáles son los elementos fundamentales que hacen posible esta actividad? Según nuestra experiencia, el ciclo completo guarda relación con la disponibilidad efectiva de tres elementos clave: un marco jurídico regulador que garantice la seguridad; disposiciones necesarias en lo que respecta a la financiación y la disponibilidad de recursos; y acceso a tecnologías y experiencia en esa esfera, comprendida la existencia de soluciones logísticas y de gestión para los materiales resultantes, en particular el combustible gastado y los desechos radiactivos.

Es necesario establecer un marco jurídico adecuado en el que se definan con claridad las responsabilidades de las distintas partes interesadas, entre ellas las autoridades. Para pasar de la explotación al desmantelamiento y la clausura han de realizarse cambios en el marco regulador que garanticen la adopción de las medidas necesarias relacionadas con los riesgos inherentes a este tipo de proyecto de forma que se facilite su aplicación, respetando al mismo tiempo los requisitos de seguridad establecidos.

Juan José Zaballa Gómez es economista y tiene una dilatada experiencia en la clausura de instalaciones nucleares. Es Presidente de Enresa, la Empresa Nacional de Residuos Radiactivos de España, y Presidente de la Conferencia Internacional del OIEA sobre el Fomento de la Aplicación Global de Programas de Clausura y Restauración Ambiental (del 23 al 27 de mayo de 2016, Madrid).



## La importancia de la I+D

Así pues, es preciso dar continuidad a las actividades de investigación, desarrollo e innovación para desarrollar y mejorar las técnicas y la tecnología. Ello debería responder a las características propias de la clausura y la restauración ambiental, excepcionales en el sentido de que predominan las actividades esporádicas, objeto de cambios continuos en lo que respecta al medio ambiente y el perfil de riesgos. Ha de realizarse en un contexto que precisa al mismo tiempo la mejora constante de las condiciones de seguridad, la eficacia de la gestión de proyectos y los costos conexos.

Un aspecto crucial de esas actividades es la separación obligatoria entre materiales no radiactivos y desechos radiactivos, proceso que reduce al mínimo la cantidad de desechos que han de ser tratados y gestionados de forma especial debido a su radiotoxicidad.

La disponibilidad de instalaciones y vías de gestión para los materiales generados desde la clausura hasta su disposición final definitiva, en particular para los desechos radiactivos y el combustible nuclear gastado, garantiza que la responsabilidad no se traspase a las generaciones futuras. Por consiguiente, la falta de vías de gestión e instalaciones de destino podría crear dificultades en el proceso de aprobación y, en todos los casos, alimenta las dudas con respecto a los costos finales.



### Reconversión por Enresa del edificio de turbinas de la central nuclear José Cabrera en una instalación de gestión de desechos radiactivos.

(Fotografía: Enresa)

#### Capacitación de jóvenes profesionales

Para llevar a cabo estas actividades ha de contarse con personal y contratistas cualificados. El sector nuclear se enfrenta al envejecimiento de la mano de obra profesional y a la dificultad de atraer y retener a jóvenes profesionales que puedan reemplazarla. Esta situación afecta a las actividades ordinarias y, quizá más, a la clausura y la restauración ambiental.

La aceptación del público es una condición necesaria y resulta indispensable para realizar de manera eficaz esas actividades. A este respecto, existe un amplio consenso sobre la responsabilidad de los explotadores y las autoridades al facilitar la participación responsable y fundamentada de un gran número de partes interesadas en la toma de decisiones.

Las personas de cualquier país que participen en estas actividades deberían estar preparadas para lo inesperado. Una gran variedad de factores (políticos, económicos, sociales, de reglamentación y ambientales) podrían influir en el desarrollo de estas actividades desde la etapa de planificación inicial hasta la finalización.

Por último, pero no por ello menos importante, quisiera hablar de los costos y la financiación de la clausura y la restauración ambiental. Los costos varían mucho según el tipo de instalación, la estrategia de desmantelamiento, el objetivo de desocupación de los emplazamientos, la proximidad y disponibilidad de infraestructura para gestionar los materiales resultantes, el marco regulador y los reglamentos en vigor. En este sentido, cada vez se presta más atención a garantizar que se dispone de recursos financieros suficientes para ejecutar y llevar a término estas actividades de modo que no se traspasen responsabilidades a las generaciones futuras.

## Desafíos en el desarrollo de infraestructura nuclear comunes a los países en fase de incorporación



### Construcción de la primera central nuclear de Belarús en el emplazamiento de Ostrovets.

(Fotografía: Dirección para la Construcción de Centrales Nucleares de Belarús).

Los países que inician programas nucleoelectrónicos han de asegurarse de que su infraestructura jurídica, de reglamentación y de apoyo avanza al mismo ritmo que la construcción de la central nuclear. Esta es la única manera de garantizar que el programa se lleva a cabo de forma segura y sostenible, según la conclusión a la que llegaron los participantes de un taller sobre desarrollo de infraestructura nucleoelectrica celebrado en el OIEA en febrero de 2016. “Emprender un programa nucleoelectrico es una importante labor que precisa cuantiosos recursos financieros, así como la responsabilidad implícita de garantizar la existencia de la infraestructura necesaria”, afirma Milko Kovachev, Jefe de la Sección de Desarrollo de Infraestructura Nuclear del OIEA, que prosigue: “los países solo deberían iniciar programas nucleoelectricos cuando estén preparados y tengan una visión realista del tiempo y los recursos que ello supone”.

Los países que implantan por primera vez la energía nucleoelectrica, denominados también “países en fase de incorporación”, se enfrentan a una serie de desafíos similares de gran importancia en materia de desarrollo de infraestructura: ultimar políticas y estrategias nacionales relacionadas con el programa, crear un marco jurídico y un órgano regulador independiente en materia nuclear, fortalecer la gestión de proyectos y conformar una plantilla cualificada.

Del 2 al 5 de febrero se celebró la décima Reunión Técnica Anual sobre Cuestiones de Actualidad relacionadas con el Desarrollo de la Infraestructura Nucleoelectrica, en la que participaron, entre otros, representantes de gobiernos nacionales, futuras entidades propietarias/explotadoras, órganos reguladores y otras instituciones de países en fase de incorporación y de países con centrales nucleares en funcionamiento.

Los países en fase de incorporación participantes expusieron estudios de casos y debatieron diversas cuestiones, como la complejidad de elaborar un marco regulador y procesos de concesión de licencias. “Es fundamental que exista un regulador con experiencia que sea independiente para equilibrar la función del explotador de una central nuclear y establecer normas de seguridad nuclear y una cultura de la seguridad nuclear de forma transparente”, afirma el sueco Per Lindell, copresidente de la reunión.

### Acontecimientos nucleares importantes

“Todos los países en fase de incorporación han adoptado el enfoque de los hitos del OIEA, que son las orientaciones clave del Organismo para desarrollar la infraestructura nuclear de los programas nucleoelectricos”, explica Abdelmajid Caoui, ex-Secretario General del Centro de Investigaciones Nucleares de Marruecos y copresidente de la

reunión. “Esto se traduce en el compromiso manifestado por los Estados Miembros de utilizar la energía nuclear de forma pacífica y tecnológica y físicamente segura, el firme apoyo gubernamental como pilar clave de un programa nucleoelectrico nuevo y la pronta creación y participación del órgano regulador, las entidades propietarias/explotadoras y las organizaciones de apoyo técnico”. Marruecos, que considera la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica como fuente de energía a largo plazo con baja emisión de carbono, acogió una misión de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR) en octubre de 2015.

En la actualidad, Belarús construye su primera central nuclear en Ostrovets. Se prevé que dos unidades de 1170 MW(e) entren en funcionamiento en 2018 y 2020 respectivamente. En la reunión, Mikhail Mikhadiuk, Viceministro de Energía de Belarús, presentó la hoja de ruta y los principales hitos para el desarrollo del programa nucleoelectrico.

“En 2008 Belarús decidió emprender un programa nucleoelectrico para mejorar la seguridad del suministro eléctrico diversificando los recursos energéticos, reducir los costos de producción de la energía eléctrica y limitar las emisiones de gases de efecto invernadero”, explica Mikhadiuk. “El programa nucleoelectrico se está ejecutando conforme a las normas del OIEA”. Belarús recibió una misión INIR en 2012.

### INIR: Asistencia del OIEA

Según Mikhail Chudakov, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Energía Nuclear del OIEA, las misiones INIR son el servicio más importante que un Estado Miembro puede solicitar en materia de desarrollo de la infraestructura nuclear. “Aliento encarecidamente a todo Estado Miembro que esté pensando seriamente en implantar la energía nucleoelectrica a que estudie la posibilidad de acoger una misión INIR”. Desde 2009 el OIEA ha llevado a cabo 17 misiones de ese tipo en 13 países y hace poco publicó un documento en el que se resumen seis años de experiencia en la realización de misiones INIR.

Los participantes abordaron también los riesgos financieros, que comprenden los relacionados con la reglamentación, y la forma de mitigarlos. En vista del siempre cambiante precio de la energía y de los costos y la complejidad de la energía

nucleoeléctrica, se trata de una esfera que interesa cada vez más a los Estados Miembros y que se abordará también en reuniones futuras del OIEA.

Por otro lado, el desarrollo de recursos humanos sigue siendo un desafío recurrente. Los países no solo han de encontrar y capacitar al personal adecuado, sino también asegurar que tendrán un trabajo una

vez capacitados, por ejemplo en el caso de que un programa se retrase.

En cuanto a los aspectos iniciales que muchos Estados Miembros tienen en cuenta al decidir si emprenden un programa nucleoelectrico, la planificación energética es el primer paso cuando se considera la posibilidad de la energía nucleoelectrica. Tales consideraciones darán lugar a nuevos

análisis mediante estudios e informes detallados de viabilidad previa. El OIEA publicará en breve nuevas orientaciones sobre este proceso y sobre la definición de una postura nacional, así como otras publicaciones pertinentes para los países que estudian la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica.

— Lenka Kollar y Elisabeth Dyck

## Primer taller del OIEA para reguladores dedicado a los requisitos de seguridad y concesión de licencias para reactores modulares de pequeña potencia

Es posible que en años venideros, ya a partir de 2020, una nueva generación de modernos reactores de potencia prefabricados, los llamados reactores modulares pequeños (SMR), empiece a obtener licencias y llegue al mercado. El OIEA está ayudando a los reguladores a preparar este debut. Con la mirada puesta en el posible despliegue de tales reactores por todo el mundo, el OIEA ha iniciado este año una serie de talleres en los que colabora estrechamente con los reguladores para abordar con antelación los enfoques de seguridad y concesión de licencias.

Los requisitos y directrices de seguridad y los procedimientos de concesión de licencias para SMR fueron algunos de los temas con los que tuvieron ocasión de familiarizarse los participantes del Organismo Árabe de Energía Atómica (AAEA) y la Red Árabe de Reguladores Nucleares que asistieron a un taller del OIEA celebrado en Viena en enero de 2016.

“Los reactores modulares pequeños constituyen una propuesta muy atractiva para el mundo árabe, no en vano más de la mitad de los países de nuestra región carecen de los recursos necesarios para construir grandes centrales nucleares tradicionales. Los SMR son más viables y manejables y requieren una inversión menor. Se trata de una opción muy realista que los países árabes deben plantearse”, dice Abdelmajid Mahjoub, Director General del AAEA y Presidente del taller.

El taller, copatrocinado por la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos, congregó a órganos reguladores, empresas explotadoras y otros entes públicos que trabajan o previsiblemente van a trabajar en



La tecnología de los SMR sigue progresando. (Imagen: OIEA)

la implantación de infraestructuras técnicas y de seguridad nacionales para los SMR.

Los asistentes al taller recibieron detallada información sobre la función de los órganos reguladores y los requisitos para la concesión de una licencia, proceso que incluye la aprobación del diseño, del emplazamiento seleccionado y de la explotación del reactor. El OIEA moderó los debates entre reguladores sobre el uso de las normas de seguridad del Organismo pertinentes y sobre las modificaciones que pueda ser preciso introducir en la reglamentación de cada país.

### Pequeños y seguros

Concebidos como un ensamblaje de módulos prefabricados y con una capacidad de producción de menos de 300 MW, los SMR tendrán plazos de construcción inferiores y también, previsiblemente, costos de construcción competitivos. Ya se están construyendo cuatro de estos reactores en tres países. “Aunque los reactores nucleares de potencia de esta nueva generación sean más pequeños, las medidas de seguridad tecnológica y física que se les aplican no difieren de las obligaciones

internacionales a las que están sujetos los reactores actuales,” dice Stewart Magruder, funcionario superior del OIEA encargado de temas de seguridad nuclear.

Las normas mundiales de seguridad tecnológica y física aplicables a los reactores nucleares de potencia ya existentes y a los que están ahora en construcción se aplican también mayoritariamente a los SMR. “Tenemos que establecer un conjunto claro y pragmático de requisitos en materia de seguridad y concesión de licencias,” afirma Greg Rzentkowski, Director de la División de Seguridad de las Instalaciones Nucleares del OIEA. “La certidumbre normativa es un factor esencial para que el despliegue de los SMR tenga éxito.”

En los próximos años el OIEA coordinará las labores complementarias que se lleven a cabo en este ámbito, que probablemente incluirán la definición de un objetivo general de seguridad y la elaboración de un documento de orientación sobre el establecimiento de requisitos en la materia acordes con las características y el tamaño de cada instalación, explica el Sr. Rzentkowski.

### Desarrollo, evaluación y despliegue

Estos módulos prefabricados de reactor nuclear pueden ser enviados a puntos de destino específicos, siguiendo un proceso muy parecido al de transportar un componente manufacturado de un

polígono industrial a otro. La explotación de los SMR con fines comerciales puede deparar inmensos beneficios a los países y usuarios finales, por ejemplo haciendo llegar la electricidad a regiones aisladas que la necesitan imperiosamente, y potenciando con ello la dinámica del suministro energético mundial.

El desarrollo de este tipo de reactores dio sus primeros pasos hace casi dos décadas, y a día de hoy ya hay varios países que de forma independiente empiezan a desplegar prototipos. El OIEA ha observado un sustancial incremento de la participación de los Estados Miembros en el desarrollo de la tecnología de los SMR, hecho indicativo de las inmensas posibilidades que parecen ofrecer estos reactores para ampliar las redes nacionales de electricidad y lograr un suministro energético más seguro.

El OIEA también está preparando una hoja de ruta tecnológica para el despliegue de los SMR y tiene en marcha un estudio sobre indicadores referidos al despliegue de estos reactores en países en desarrollo con el fin de ayudar a los Estados Miembros a producirlos, evaluarlos o desplegarlos.

### ¿Dónde estamos y hacia dónde vamos?

Actualmente hay alrededor de 50 SMR concebidos para diferentes fines y aplicaciones que están en fase de diseño, y cuatro que ya están en fase de construcción:

el prototipo industrial CAREM-25 en la Argentina; los reactores flotantes KLT-40S y RITM-200 en la Federación de Rusia; y una central de demostración HTR-PM (siglas en inglés de ‘reactor modular de lecho de bolas de alta temperatura’) en China. El año pasado, la autoridad saudita de la energía atómica suscribió un acuerdo con la República de Corea para la construcción en la Arabia Saudita de un SMR denominado SMART (siglas en inglés de ‘reactor modular avanzado integrado’). Incluso los productores de combustibles fósiles tradicionales se interesan ahora en las posibilidades que ofrecen los SMR para alimentar las redes de energía nacionales y regionales con un suministro más diversificado.

“La tecnología de los SMR figura entre las tecnologías de reactores más avanzadas para satisfacer la futura demanda de energía, y los Estados Miembros deben conocer perfectamente las normas y reglamentaciones de seguridad aplicables a este nuevo tipo de reactores para que su despliegue discurra satisfactoriamente,” dice Hadid Subki, ingeniero nuclear de la Sección de Desarrollo de la Tecnología Nucleoeléctrica del OIEA.

El próximo taller del OIEA sobre requisitos de seguridad y concesión de licencias para SMR irá dirigido a los miembros del Foro de Órganos Reguladores Nucleares en África y tendrá lugar en junio de 2016.

— Aabha Dixit y Miklos Gaspar

---

## Gran paso adelante del OIEA en la disposición final de fuentes radiactivas

Los resultados positivos de las pruebas realizadas con una prometedora tecnología de traslado y almacenamiento de fuentes radiactivas selladas de actividad baja allanan el camino a un nuevo método de disposición final de pequeños volúmenes de desechos radiactivos que podría utilizarse en todo el mundo. El método, que consiste en colocar y aislar las fuentes selladas en un estrecho orificio a unos cuantos metros de profundidad, permitiría a los países hacerse cargo de sus propias fuentes radiactivas en desuso de manera segura. La tecnología se probó por primera vez en Croacia a finales del año pasado, sin emplear para ello material radiactivo real.

Casi todos los países utilizan fuentes radiactivas en la atención sanitaria, la industria y otros sectores. Sin embargo, muchos de ellos no tienen el equipo o el personal necesario para ocuparse de ellas cuando dejan de ser utilizables. En circunstancias normales, un país en desarrollo en el que se utilicen fuentes radiactivas selladas puede generar cientos de fuentes en desuso con bajos niveles de radiactividad durante varios años, según estimaciones del OIEA.

“Las fuentes de baja actividad plantean un mayor desafío porque hay muchas en todo el mundo y tienen formas y variantes

distintas”, aclara Andrew Tompkins, ingeniero nuclear del OIEA.

La mayoría de los países en desarrollo almacenan temporalmente las fuentes radiactivas selladas, mientras que algunos países desarrollados tienen instalaciones de disposición final cerca de la superficie. En ambos casos se plantean riesgos para la seguridad si no tienen una protección adecuada. El nuevo método de disposición final es una solución a largo plazo a este problema y, en última instancia, contribuirá a la protección de las personas y el medio ambiente.





**Ingenieros del OIEA y una empresa croata de protección radiológica prueban un nuevo sistema de disposición final segura de fuentes de baja actividad en pozos barrenados.** (Fotografía: L. Gil, OIEA)

Las pruebas realizadas con el equipo por ingenieros del OIEA y una empresa croata de protección radiológica confirman la viabilidad de un sistema que permite trasladar e introducir de forma segura las fuentes de actividad baja en pozos barrenados para su disposición final.

La tecnología examinada, desarrollada para fuentes en desuso con bajos niveles de radiactividad, se vale de una resistente plataforma metálica y un contenedor móvil, conocido como cofre de traslado, para llevar las fuentes al pozo barrenado de forma segura. “Es sencillo, asequible y puede desplegarse a escala mundial”, afirma János Balla, ingeniero de tecnología de los desechos del OIEA.

“Nos dimos cuenta de que los países con pocos desechos, infraestructuras modestas y recursos humanos y financieros limitados necesitaban una solución segura, fácil y práctica”, agrega Balla.

### Evitar el robo y el terrorismo

El aumento de la seguridad física nuclear ha sido un factor importante en el desarrollo de este nuevo método. “Dado que las fuentes en desuso siguen siendo radiactivas, queremos reducir la probabilidad de que sean interceptadas y utilizadas en

actividades terroristas”, indica Gert Liebenberg, funcionario de seguridad física nuclear del OIEA. “Una vez en el pozo barrenado, no es fácil que alguien acceda a ellas”.

La idea original de los pozos barrenados fue de la South African Nuclear Energy Corporation (Necsa), y, a continuación, el OIEA la adaptó para que incluyera la disposición final de fuentes con niveles de radiactividad más elevados. Actualmente se están llevando a cabo preparativos técnicos y evaluaciones de seguridad de los pozos barrenados en varios países, como Malasia y Filipinas, de modo que el método pueda ponerse en práctica en los próximos años.

El OIEA está preparado para capacitar a expertos de países interesados en utilizar el método de la disposición final en pozos barrenados y proporcionarles la asistencia necesaria, ya sea equipo o especificaciones técnicas, para que construyan sus propios cofres de traslado. La mayoría de países, incluidos los menos desarrollados, disponen de la tecnología de perforación del pozo, similar a la empleada para extraer agua.

### Tratamiento de las fuentes

Las fuentes radiactivas se utilizan mucho en la medicina y la industria, por ejemplo

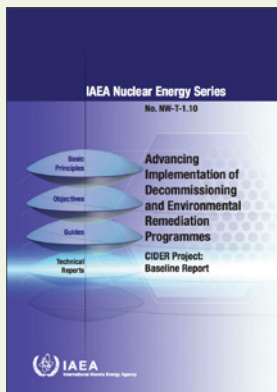
en los aparatos de radioterapia para tratar el cáncer o en los instrumentos industriales de esterilización de suministros médicos desechables. Las fuentes selladas más comunes tienen bajos niveles de radiactividad o períodos de semidesintegración breves, es decir, seguirán siendo radiactivas durante un plazo de entre unos pocos meses a unos pocos cientos de años.

Antes de la disposición final, todas las fuentes son tratadas y embaladas de nuevo en un proceso conocido como acondicionamiento. Cuando se preparan siguiendo este método de disposición final, cientos de fuentes, que es la cantidad que suele generar un país en desarrollo al año, ocupan menos de un metro cúbico, el tamaño de un armario pequeño.

Una vez que se dispone del pozo barrenado, las fuentes acondicionadas se introducen en un contenedor especial, o bulto de disposición final, que se sella a continuación. Después, el contenedor sellado se introduce en el cofre para ser trasladado, por último, hasta el pozo barrenado.

— Laura Gil

## Nuevas publicaciones

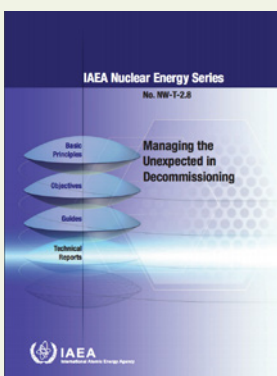


### Advancing Implementation of Decommissioning and Environmental Remediation Programmes

#### CIDER PROJECT: Baseline Report

En esta publicación se examinan los obstáculos que impiden la ejecución de los proyectos de clausura y restauración ambiental y se ofrecen opciones para superarlos. A pesar de los notables progresos realizados en los últimos años, aún queda mucho por hacer con respecto al legado del desarrollo inicial de la energía nuclear, comprendido el desmantelamiento de centrales nucleares e instalaciones obsoletas de investigación y del ciclo del combustible y la restauración de emplazamientos afectados por antiguas actividades de extracción y tratamiento de uranio. Aunque varios países hacen frente a esas cuestiones relacionadas con el legado, y han acumulado recursos y conocimientos técnicos adecuados, muchos programas nacionales siguen encontrando importantes desafíos.

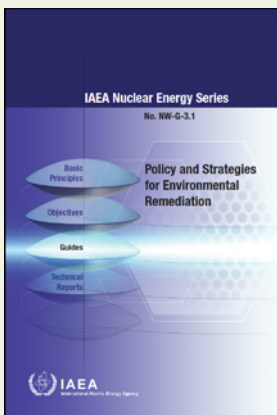
Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-T-1.10; ISBN: 978-92-0-101316-3; 37,00 euros; 2016  
[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10993/CIDER](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10993/CIDER)



### Managing the Unexpected in Decommissioning

En esta publicación se estudian las consecuencias de sucesos imprevistos que pueden darse durante la clausura y formas de mitigarlos. Se ofrecen orientaciones prácticas sobre cómo planificar y gestionar este tipo de proyectos, teniendo en cuenta los sucesos imprevistos. En ella se clasifican y presentan algunos ejemplos en los que, debido a imprevistos, ha sido necesario suspender o replantear las actividades de clausura. La publicación contiene una evaluación de las experiencias en el pasado al abordar desafíos en materia de clausura. Los integrantes de futuros equipos de clausura podrán extraer enseñanzas al respecto, lo que les ayudará a reducir gastos adicionales, retrasos y exposiciones radiológicas innecesarias.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-T-2.8; ISBN: 978-92-0-103615-5; 35,00 euros; 2016  
[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10786/Unexpected](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10786/Unexpected)

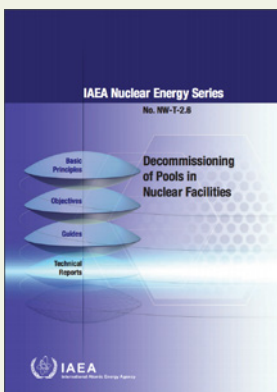


### Policy and Strategies for Environmental Remediation

Publicación en que se definen los objetivos, plazos y esfuerzos necesarios para llevar a cabo la restauración ambiental. En ella se aclaran las diferencias entre políticas y estrategias, y se ofrece asesoramiento a los Estados Miembros sobre la formulación y redacción de este tipo de documentos. Se tratan aspectos como la consignación de gastos y los distintos intereses de las partes interesadas en la restauración ambiental.

Junto con otras publicaciones del OIEA sobre seguridad relativas a la restauración ambiental que ya han visto la luz, este libro ayudará a las autoridades nacionales a reconocer la necesidad de que la restauración ambiental se incluya como elemento necesario en la planificación y ejecución de las iniciativas en la esfera de la energía nuclear.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-G-3.1; ISBN: 978-92-0-103314-7; 20,00 euros; 2015  
[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10622/Policy](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10622/Policy)



### Decommissioning of Pools in Nuclear Facilities

Publicación en que se explican los aspectos técnicos y de planificación de la clausura de piscinas de instalaciones nucleares. En ella se examinan y se reúnen las experiencias disponibles a nivel mundial relacionadas con la clausura de piscinas, como la planificación del proyecto, la salud y la seguridad y la gestión de los residuos resultantes.

Varias instalaciones nucleares utilizan piscinas para enfriar el combustible gastado o proteger el núcleo de un reactor de investigación o las fuentes irradiadoras. Con una vida útil que puede prolongarse varios decenios, es posible que las piscinas queden contaminadas como resultado de la deposición de sustancias radiactivas. Aunque de forma esporádica se han descrito casos de clausura de piscinas en la literatura técnica, en ningún informe se había expuesto con tanto detalle el tratamiento de la descontaminación y las estrategias y tecnologías de desmantelamiento para piscinas contaminadas como en esta publicación.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-T-2.6; ISBN: 978-92-0-103115-0; 55,00 euros; 2015  
[www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10669/Pools](http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/10669/Pools)



# Third International Conference on Nuclear Knowledge Management Challenges and Approaches

7–11 November 2016, Vienna, Austria



Organized by the



In cooperation with the OECD/Nuclear Energy Agency (NEA)



CN-241