

# Clausura de instalaciones nucleares

## Enfrentar el pasado y garantizar el futuro

Patrick O’Sullivan

Se prevé que, durante los próximos 10 a 20 años, el número de instalaciones nucleares que deban clausurarse aumente considerablemente. No existe una relación sencilla entre la antigüedad de una instalación y el momento de la parada definitiva, dado que esta decisión puede verse afectada por multitud de factores, incluidos motivos de carácter político y económico. El momento también puede depender del mantenimiento, los costos de renovación, las condiciones del mercado de la electricidad entre otras cosas (véanse las páginas 8 y 9). No obstante, en las políticas gubernamentales se promueven, cada vez más, estrategias para el desmantelamiento inmediato en consonancia con los principios de sostenibilidad, de manera que las cargas asociadas con la clausura, como la gestión de los desechos, no se transfieran a las generaciones futuras. La posibilidad de reutilizar los emplazamientos para la construcción de nuevas instalaciones nucleares o para otros propósitos también es una cuestión importante que tener en cuenta.

### Plazos y presupuesto

La clausura de una instalación nuclear de grandes dimensiones es una empresa compleja que suele requerir unos plazos y un presupuesto considerables. Por ejemplo, el costo de clausurar un reactor nuclear de potencia, incluidos los costos de gestión de desechos asociados, suele estar entre 500 millones y 2000 millones de dólares; además, clausurar reactores moderados por grafito y refrigerados por gas suele ser considerablemente más caro que cuando se trata de reactores de agua a presión o de agua en ebullición, debido a su tamaño y complejidad mayores. El proceso de clausura suele durar entre 15 y 20 años, aunque este plazo puede variar. El costo que supone clausurar una instalación del ciclo del combustible de grandes dimensiones, como una instalación utilizada para reprocessar combustible gastado, suele ser de unos 4000 millones de dólares, mientras que la clausura de esas instalaciones podría tardar más de 30 años en culminarse. La clausura de un reactor de investigación con una potencia térmica de 10 megavatios puede costar más de 20 millones



de dólares y prolongarse entre 5 y 10 años, si bien el costo depende del tamaño del reactor, su finalidad y su historial de explotación. No obstante, algunos ejemplos de éxito indican que existe la posibilidad de lograr un proceso de clausura más eficiente en términos de tiempo y menos oneroso.

### Los mayores desafíos para la industria de la clausura

Debido al aumento previsto de instalaciones nucleares que se someterán a régimen de parada definitiva de aquí a 2050, será necesario contar con una importante cantidad de recursos —tanto humanos como económicos— para ejecutar los programas de clausura necesarios, algunos de los cuales se extenderán hasta el fin de este siglo. En el caso de las instalaciones comerciales, por lo general, durante su explotación se han reservado fondos con miras a cubrir los costos de la clausura. Sin embargo, la clausura de un número importante de instalaciones se financia directa o indirectamente con recursos estatales,

en cuyo caso la disponibilidad de financiación suficiente puede retrasar la ejecución. Además, para la ejecución de futuros programas de clausura también se necesitará una fuerza de trabajo abundante y muy cualificada. Alentar a la juventud a emprender una carrera profesional en la gestión de la clausura y de los desechos radiactivos es uno de los desafíos más importantes a los que actualmente se enfrenta la industria (véase la página 30).

### Reciclado y reutilización de materiales de desecho

La clausura genera grandes cantidades de materiales y desechos, la mayoría de los cuales están libres de contaminación radiactiva. Se están desplegando esfuerzos para reciclar o reutilizar una gran parte de estos desechos no contaminados —como metales, restos de hormigón y tierra— siguiendo los principios de la economía circular (véase la página 28). En algunos casos, los escombros de las demoliciones se pueden utilizar para rellenar los espacios



que se crean al retirar estructuras que se encuentran bajo el nivel del terreno. También se está contemplando un mayor aprovechamiento del reciclado de chatarra, incluso para su reutilización en la industria nuclear.

Una gran proporción del material con contaminación radiactiva —normalmente en torno al 5 % del material total generado por la clausura— contiene niveles muy bajos de radiactividad y es apto para su disposición final en repositorios cerca de la superficie. Un pequeño porcentaje del material contaminado (menos del 5 % del material total generado) no es apto para su liberación del control reglamentario ni para su disposición final cerca de la superficie, debido a los altos niveles de actividad y a la presencia de radionucleidos muy activos o de período largo; la disposición final de este material en condiciones de seguridad se realizará en instalaciones subterráneas de disposición final (véanse las páginas 20, 21, 22 y 23).

### Satisfacer las necesidades del futuro

Habida cuenta del alcance de las necesidades futuras relacionadas con la clausura y la posibilidad de que aparezcan nuevas tecnologías que mejoren la eficiencia de la clausura, es probable que, en un futuro próximo, se produzcan cambios significativos en la ejecución de los proyectos, una vez que

esas tecnologías se hayan adoptado ampliamente y se haya demostrado la relación costo-eficacia de estas. Entre esos avances cabe mencionar la aplicación de técnicas digitales para respaldar la planificación y optimizar la ejecución de proyectos; el mayor aprovechamiento de instrumentos teledirigidos, incluidos drones y robots para la segmentación de componentes de las plantas, el manejo de materiales, las mediciones y la descontaminación; la mayor automatización de las actividades de gestión de desechos y el uso de inteligencia artificial (véase la página 12).

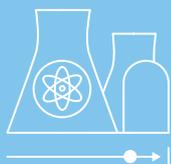
El papel de la cadena de suministro es crucial para garantizar que los futuros proyectos se ejecuten de la forma más eficaz y eficiente posible. Ya existen pruebas de organizaciones de la cadena de suministro que están creando conocimientos especializados para ofrecer una mayor variedad de servicios de clausura en esferas como la investigación y el desarrollo en relación con nuevas tecnologías, la ingeniería, el desmantelamiento y la gestión de desechos radiactivos. Un avance reciente específico para la clausura de centrales nucleares ha sido la aparición de consorcios de clausura que reúnen a empresas especializadas para ejecutar proyectos completos de clausura dentro de un presupuesto fijo, siguiendo enfoques normalizados y asumiendo todos los riesgos conexos del proyecto (véase la página 24).

## ¿Qué es la clausura de instalaciones nucleares?

En la industria de la energía nuclear, “clausura” es un término genérico bajo el cual se agrupan todas las actividades que posibilitan la parada definitiva, la descontaminación y el desmantelamiento de las instalaciones nucleares, así como su liberación del control reglamentario. La clausura no finaliza hasta que se hayan retirado del emplazamiento los materiales radiactivos y otros materiales peligrosos y hasta que se hayan preparado para nuevos usos los edificios y los terrenos que anteriormente se empleaban como instalaciones nucleares. La última etapa del proceso de clausura comprende la realización de amplios reconocimientos radiológicos a fin de confirmar la ausencia de cantidades importantes de radiactividad en el emplazamiento y autorizar su liberación del control reglamentario.



## La clausura de instalaciones nucleares en cifras



Más de  
**420**  
reactores nucleares  
de potencia en  
funcionamiento en  
todo el mundo

En la actualidad hay alrededor de 420 reactores nucleares de potencia en funcionamiento en todo el mundo y la mayoría de ellos se acerca al fin de la vida útil para la que se diseñaron originariamente.



La mitad estará en  
régimen de parada  
para 2050

Hasta la mitad del actual parque en funcionamiento podría entrar en régimen de parada definitiva de aquí a 2050 y, por lo tanto, será preciso clausurarlo.



≈ **200**  
retirados  
del servicio

Ya se han retirado del servicio más de 200 reactores nucleares de potencia y 21 de ellos han sido clausurados por completo.

**222**  
reactores  
de investigación  
en 53 países

**353**  
instalaciones del  
ciclo del combustible  
en 40 países

Es probable que se pongan  
en régimen de parada definitiva

Durante este período también es probable que se ponga en régimen de parada definitiva un número considerable de reactores de investigación que actualmente se encuentran en funcionamiento (222 en 53 países) e instalaciones del ciclo del combustible (353 en 40 países).

≈ **450**  
reactores de  
investigación

Más de  
**150**  
y instalaciones del  
ciclo del combustible

se han clausurado por completo

Ya se han clausurado por completo en torno a 450 reactores de investigación, así como más de 150 instalaciones del ciclo del combustible.

Desde el cambio de siglo, se ha adquirido una experiencia considerable en materia de clausura, fundamentalmente en los países que establecieron sus programas nucleares a mediados del siglo XX, como Alemania, los Estados Unidos de América, la Federación de Rusia, Francia, Italia, el Japón y el Reino Unido. Otros —como Bulgaria, el Canadá, Eslovaquia, España, Lituania y Ucrania— también tienen experiencia en este ámbito, si bien se podría prever un número importante de programas durante los próximos 30 años en Bélgica, China, la India, el Pakistán, Corea y Suecia.