

# Salvaguardias en los reactores de investigación: Prácticas actuales, direcciones futuras

*Se están introduciendo algunas nuevas medidas de verificación para aumentar la eficiencia y fortalecer la eficacia de las salvaguardias del Organismo*

por Giancarlo  
Zuccaro-Labelarte  
y  
Robert Fagerholm

**A**lrededor de 180 reactores de investigación y conjuntos críticos están hoy día sometidos a las salvaguardias del OIEA. La inmensa mayoría de los reactores de investigación se explotan a una potencia relativamente baja (10 megavatios térmicos o menos) y los conjuntos críticos a una potencia prácticamente nula\*. Ello resulta importante desde el punto de vista de las salvaguardias, ya que el nivel de potencia de un reactor es un factor determinante de su capacidad para producir plutonio. Junto con el uranio muy enriquecido (UME) y el uranio 233, el plutonio se considera un material de "uso directo" que podría ser desviado para la producción de armas nucleares.

En el presente artículo se examina la aplicación de las salvaguardias del OIEA en los reactores de investigación, incluidos aspectos relacionados con los escenarios de desviación y de producción clandestina y las principales actividades de verificación. Además, se abordan las nuevas medidas de salvaguardias que se están introduciendo con el objetivo de ofrecer garantías sobre la ausencia de actividades y materiales nucleares no declarados.

## Aplicación de salvaguardias a reactores de investigación

Varios tipos de reactores de investigación se hallan en funcionamiento. Un tipo muy común de reactor de investigación es el reactor de piscina que típicamente funciona a niveles de potencia alrededor, o por debajo, de 10 megavatios térmicos. Los elementos combustibles suelen estar compuestos por UME (enriquecido para que contenga el 20% o más del isótopo de uranio 235) o por uranio poco enriquecido (UPE, con uranio 235 en menos del 20%) contenido en placas, varillas o tubos de aleación de aluminio. El núcleo del reactor está sumergido en una gran piscina de agua que proporciona

El Sr. Zuccaro-Labelarte es Jefe de la Sección de Procedimientos de la División de Operaciones C y el Sr. Fagerholm es analista de salvaguardias de la División de Conceptos y Planificación del Departamento de Salvaguardias del OIEA.

enfriamiento y moderación neutrónica. Normalmente, en el núcleo de un reactor de piscina los conjuntos combustibles están visibles y asequibles para las mediciones de las salvaguardias.

Otros tipos de reactores de investigación funcionan a niveles de potencia superiores (que exceden de los 10 megavatios térmicos). Estos reactores necesitan sistemas de extracción de calor más potentes y, por ende, suelen estar encerrados en las vasijas del núcleo y dotados de bombas refrigerantes e intercambiadores de calor. Por lo general, los elementos combustibles del núcleo del reactor en estas instalaciones no están visibles ni asequibles para las mediciones de salvaguardias.

Los reactores de investigación se utilizan ampliamente en las investigaciones científicas, así como en diversas aplicaciones. Los neutrones producidos por los reactores de investigación constituyen un poderoso instrumento de estudio de la materia a nivel nuclear, atómico y molecular. Los físicos nucleares y del estado sólido, químicos y biólogos suelen utilizar los neutrones como sondas. Los experimentos con neutrones también pueden efectuarse fuera del blindaje biológico mediante la instalación de tubos de haces. Además, los especímenes se pueden colocar dentro o cerca del núcleo del reactor de investigación para la irradiación de neutrones, por ejemplo, para producir isótopos radiactivos con fines médicos o de investigación.

**Escenarios de desviación.** En virtud de los acuerdos de salvaguardias amplias en vigor, el OIEA tiene el derecho, y la obligación, de verificar que ningún material nuclear sea desviado de su uso pacífico para fabricar armas nucleares u otros dispositi-

\*Un conjunto crítico es un instrumento de investigación que consiste en una configuración de material nuclear que, mediante los controles adecuados, puede mantener una reacción en cadena sostenida. A diferencia de un reactor de investigación o de un reactor de potencia, no suele tener ningún dispositivo especial de enfriamiento ni estar protegido para la explotación a potencias elevadas, tiene un núcleo diseñado para una gran flexibilidad de disposición, y utiliza combustible fácilmente accesible, que con frecuencia se reubica y varía para investigar diversos conceptos de reactores.

vos nucleares explosivos. Los Estados conciertan estos acuerdos con el OIEA con arreglo a las obligaciones que han contraído a tenor del Tratado sobre la no proliferación de las armas nucleares (TNP).

En el caso de los reactores de investigación, se consideran los siguientes escenarios de desviación:

**Desviación de combustible sin irradiar o ligeramente irradiado para la extracción química clandestina de material fisionable.** Este escenario —para el que sería adecuado el equipo de ingeniería química comúnmente disponible— recibe especial atención desde el punto de vista de las salvaguardias en instalaciones donde el combustible sin irradiar contiene UME o plutonio, los que no necesitarían una ulterior transmutación o enriquecimiento para ser utilizados en un dispositivo nuclear explosivo. Unos 20 reactores de investigación sometidos a las salvaguardias del OIEA utilizan actualmente ese material fisionable de uso directo en cantidades iguales a más de una cantidad significativa (CS). A los fines de las salvaguardias, una CS se define en la actualidad como 8 kilogramos de plutonio o uranio 233 ó 25 kilogramos de uranio 235 en UME.

Las actividades internacionales —por ejemplo, como las que se realizan en virtud del programa US Reduced Enrichment Research and Test Reactor— están encaminadas a desarrollar la tecnología necesaria para utilizar combustible de UPE en lugar de UME en los reactores de investigación y de prueba sin afectar de manera significativa su comportamiento en materia de experimentos, costos o en aspectos relacionados con la seguridad.

**Desviación del combustible gastado o muy irradiado para la extracción química clandestina de material fisionable en una planta de reelaboración.** Este escenario es técnicamente más exigente y requiere más tiempo que el anterior, debido al elevado grado de radiactividad del combustible utilizado. Sin embargo, despierta especial preocupación en unos 15 reactores de investigación sometidos a las salvaguardias del OIEA, dadas las grandes cantidades de combustible gastado acumuladas, y es importante en más de otros 10 reactores.

**Escenarios de producción clandestina.** Es posible que exista producción clandestina de plutonio o uranio 233 mediante la irradiación de material fértil no declarado. En la medida en que se han ido desarrollando técnicas para la utilización de neutrones, ha ido surgiendo la necesidad de elevar los niveles de flujo neutrónico para efectuar experimentos más complejos y prolongados en menos tiempo. Se han construido reactores de investigación grandes para obtener estos niveles de flujo. En esos reactores, sería técnicamente viable producir cantidades sustanciales de plutonio o uranio 233 mediante la irradiación de material fértil no declarado. Ello podría lograrse, por ejemplo, colocando materiales objetivo en posiciones de irradiación dentro o cerca del núcleo, o sustituyendo los elementos del reflector por materiales objetivo fértiles. Sin embargo, estu-

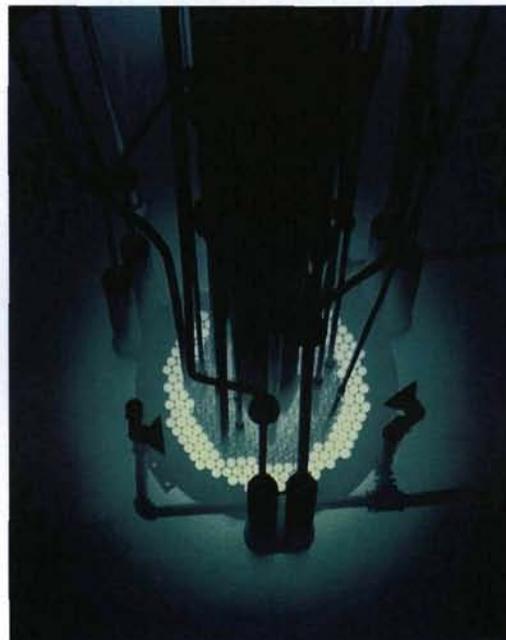
dios realizados han demostrado que no es posible producir una CS de plutonio en un año en un reactor de investigación que funcione por debajo de unos 25 megavatios térmicos. La capacidad de producción real depende del diseño y de los parámetros de funcionamiento de cada reactor.

El sistema de salvaguardias del Organismo exige que se evalúen, respecto de su capacidad para producir al menos una CS de plutonio (o uranio 233) al año, todos los reactores de investigación que funcionen a niveles de potencia por encima de los 25 megavatios térmicos.

En la actualidad, existen alrededor de 30 reactores de investigación térmicos, con niveles de potencia de 10 megavatios térmicos o más, sometidos a las salvaguardias del OIEA. Aproximadamente 10 de estos reactores funcionan a niveles de potencia que exceden de los 25 megavatios térmicos y están sometidos a medidas de salvaguardias complementarias respecto de los escenarios de producción clandestina.

#### Elementos de las salvaguardias "clásicas" del OIEA

Hoy día las principales actividades de inspección que el OIEA lleva a cabo en los reactores de investigación son una verificación anual del inventario físico (VIF); las inspecciones que tienen como objetivo la detección oportuna del combustible sin irradiar, del combustible del núcleo y del combustible gastado; la comprobación de registros e informes; la verificación de tipos específicos de transferencias de combustible; y las actividades de verificación para confirmar la ausencia de irradiación clandestina de material fértil.



En Japón un reactor de investigación se usa para realizar pruebas del comportamiento del combustible como parte de estudios sobre seguridad nuclear. (Cortesía: JAERI)



El reactor de investigación de Bataan, Indonesia. (Cortesía: Meyer/OIEA)

En el marco de la VIF, el combustible sin irradiar y el combustible gastado se verifican mediante los métodos de análisis no destructivo (AND), para confirmar que todo el combustible declarado está contabilizado. El combustible del núcleo se verifica mediante los métodos de AND, o mediante la comprobación de la criticidad corroborada por otros datos del reactor\*. Las inspecciones interinas se efectúan en los reactores de investigación a intervalos que se determinan de acuerdo con los requisitos de oportunidad de las salvaguardias para inventarios específicos de diferentes tipos de material\*\*. Si en una instalación existe más de una CS, las verificaciones del combustible del núcleo y del combustible gastado se realizan cuatro veces dentro de un año civil, a intervalos trimestrales, mientras que la verificación del combustible sin irradiar que contenga UME y plutonio se efectúa 12 veces dentro de un año civil, a intervalos mensuales. Las verificaciones del combustible sin irradiar que contenga menos de una CS de UME o plutonio se realizan cuatro veces dentro de un año civil, a intervalos trimestrales, si en la instalación hay más de una CS de UME o plutonio (sin irradiar o irradiado).

Las transferencias de combustible y material de ensayo que contengan UME, plutonio o uranio 233 hacia o desde una instalación se verifican en la instalación remitente, o en la destinataria, si los envíos están precintados por el Organismo, o en las dos instalaciones, si el envío no está precintado.

Para comprobar la inexistencia de una producción no registrada de una CS de plutonio o uranio 233 en reactores de investigación de alta potencia (por encima de los 25 megavatios térmicos), se utiliza uno de los siguientes procedimientos:

\*La comprobación de la criticidad es la actividad de inspección que proporciona la prueba de que un reactor ha alcanzado la criticidad y de que se ha mantenido una reacción nuclear controlada, es decir, el núcleo contiene, al menos, cantidades críticas mínimas de material nuclear.

\*\*La oportunidad de las salvaguardias está relacionada con el tiempo que se necesita para convertir el material nuclear de su estado actual a UME o plutonio metálico.

- análisis del diseño y las operaciones de la instalación;
- contención y vigilancia (C/V), entre otras medidas (por ejemplo, vigilancia de la potencia), que confirma que el reactor está parado, o no ha funcionado durante un tiempo suficiente;
- ejecución de una de las siguientes actividades:
  - 1) adopción de medidas de C/V para confirmar que no ha habido ninguna introducción no registrada de materiales fértiles ni extracción de éstos después de la irradiación; o 2) evaluación del consumo de combustible sin irradiar y de los datos del explotador sobre el quemado del combustible gastado para confirmar que se ajustan a la información sobre el diseño y la explotación del reactor declaradas.

El Estado suministra al Organismo la información sobre el diseño del reactor de investigación de importancia para las salvaguardias. Esta información se examina y verifica conforme a los procedimientos establecidos por el Organismo y se vuelve a examinar, al menos, una vez al año. Cuando se producen modificaciones o cambios en la información sobre el diseño, relacionada con las salvaguardias, éstos se verifican a fin de establecer la base para ajustar los procedimientos de salvaguardias, y después se ponen en práctica los ajustes necesarios.

### Elementos de salvaguardias fortalecidas en los reactores de investigación

En junio de 1995, la Junta de Gobernadores del OIEA respaldó la dirección general de un sistema de salvaguardias fortalecido y eficaz en relación con los costos conforme a la Parte 1 de lo que se conoce como "Programa 93+2". Las medidas de la Parte 1 son las que pueden aplicarse en virtud de las facultades legales existentes del Organismo previstas en los acuerdos de salvaguardias amplias.

Algunas de las medidas destinadas a aumentar la eficiencia y fortalecer la eficacia de las salvaguardias son de carácter general. Entre ellas, se incluyen la pronta presentación de la información sobre el diseño; y la descripción del ciclo del combustible nuclear del Estado.

Otras medidas son más específicas de determinadas instalaciones. Estas medidas incluyen la descripción y situación de las actividades de investigación y desarrollo, en particular las relacionadas con el enriquecimiento y la reelaboración del uranio; el muestreo ambiental en puntos estratégicos seleccionados para inspecciones ordinarias; las inspecciones ordinarias no anunciadas para confirmar las actividades nucleares declaradas y la ausencia de actividades nucleares no declaradas; la vigilancia automática y la transmisión a distancia de la información sobre salvaguardias.

El desarrollo continuo de nuevas tecnologías también ofrece la posibilidad de aplicar medidas de salvaguardias y sistemas de vigilancia nuevos que

permiten la explotación a distancia del equipo y la transmisión a distancia de datos de salvaguardias. La repercusión de estas nuevas medidas en los explotadores y los Estados dependerá mucho del tipo de instalación nuclear y de los Estados o zonas específicas donde estén ubicadas estas instalaciones.

Un componente esencial en la introducción de las medidas propuestas es el aumento de la cooperación con los Estados y el Sistema nacional de contabilidad y control (SNCC) del material nuclear. Esta cooperación es necesaria para que el OIEA pueda planificar y efectuar las actividades de inspección con mayor eficiencia. Los SNCC y el OIEA también pueden llevar a cabo inspecciones o determinadas actividades de apoyo de conjunto a fin de ahorrar recursos y hacer un uso óptimo del sistema actual. La aplicación coordinada y eficiente de las nuevas medidas reducirá las actividades de salvaguardia del material nuclear declarado que se realizan en el presente y, al mismo tiempo, incrementará la capacidad de detección de posibles actividades y materiales nucleares no declarados.

Como ya se ha mencionado, la frecuencia de las inspecciones en los reactores de investigación varía de una a doce veces al año, según el tipo y la cantidad de material nuclear presente en la instalación. Las actividades de inspección actuales se programan de manera que ofrezcan garantías de que el material nuclear declarado permanece sometido a salvaguardias. En el marco del actual sistema resulta más difícil tener la garantía de que el reactor no se ha utilizado para producir plutonio o uranio 233 no declarados mediante actividades no declaradas, en particular si la cantidad de material fisionable no declarado producida es mucho menor que una CS (por ejemplo, 2 kg o menos de plutonio al año).

En el caso de las instalaciones que actualmente se inspeccionan 12 veces al año, pueden adoptarse medidas durante estas frecuentes inspecciones que

permitan comprobar la posible existencia de operaciones no declaradas. En otras instalaciones de investigación donde las cantidades de material nuclear declarado están por debajo de una CS, la frecuencia de las inspecciones suele ser de una vez al año, o en el caso de algunos reactores de investigación más grandes, de dos inspecciones al año. En estos casos, las nuevas medidas pueden contribuir de manera significativa a mejorar la capacidad del Organismo para ofrecer garantías respecto de la ausencia de actividades no declaradas.

Las medidas que en la actualidad se están introduciendo en virtud de las facultades legales existentes del OIEA incluyen:

**Muestreo ambiental.** La irradiación de objetivos y su posterior disolución en una celda caliente para extraer, por ejemplo, plutonio, se podrían ocultar con éxito para que no sean detectadas mediante las medidas de salvaguardias clásicas, en especial si las cantidades producidas son mucho menores que una CS. Cuando las inspecciones se avisan previamente y la frecuencia se limita a una vez al año, tal vez resulte posible ocultar la actividad no declarada e interrumpirla antes de que se efectúe la inspección del OIEA. Sin embargo, en todo proceso químico utilizado para separar material fisionable, pequeñas cantidades de material migrarían a los alrededores de la zona donde se elabora este material. Aunque se tenga mucho cuidado en evitar las pérdidas, podrían quedar vestigios de esta actividad que permitirían detectarla mediante los métodos analíticos modernos y muy sensibles que se utilizan en las muestras de frotis ambientales.

La repercusión que estas técnicas analíticas tendrán en la explotación de la instalación es poca, ya que el muestreo se realiza tomando muestras de frotis dentro o fuera de las celdas calientes durante las inspecciones ordinarias; el explotador tiene que hacer pocos preparativos.

### Capacidad de detección

	Material nuclear declarado		Material/actividades nucleares no declarados	
	Determinación de la cantidad	Oportunidad	Determinación de la cantidad	Explotación/producción
Medidas de salvaguardias actuales	Sí	Sí	No	Sí*
Muestreo ambiental	No	No	No	Sí**
Inspecciones no anunciadas	Sí	Sí	No	Sí
Vigilancia a distancia:				
<i>vigilancia por video</i>	No	No	No	Sí
<i>transmisión de datos contables</i>	Sí***	Sí***	No	No
<i>AND, monitores de radiación</i>	Sí***	Sí***	No	Sí

\*El actual sistema de salvaguardias se basa en la detección de operaciones no declaradas para producir una CS/año (o más) de plutonio o uranio 233 no declarados.

\*\*El muestreo ambiental también es eficaz en casos de producción de mucho menos que una CS/año.

\*\*\*En relación con arreglos de inspecciones no anunciadas.

**Examen general de las medidas de salvaguardias y las capacidades de detección en reactores de investigación**

**Inspecciones no anunciadas.** Las inspecciones no anunciadas son aquellas en las que el Estado y el explotador son informados, por primera vez, de la intención del Organismo de efectuar una inspección cuando el inspector del OIEA llega a la entrada del emplazamiento. La cooperación del Estado es necesaria ya que la realización de esas inspecciones exige que el Estado conceda visados de entradas múltiples o permita la entrada sin visado a los inspectores. Además, el explotador tiene que hacer trámites para conceder al inspector del Organismo acceso a la instalación en poco tiempo. El explotador de la instalación debe estar siempre preparado para recibir en cualquier momento una inspección no anunciada. El beneficio está en que tener la garantía de la ausencia de actividades no declaradas en la instalación en el momento de la inspección significa que hay cierta probabilidad de que así haya sido durante todo el tiempo transcurrido desde la última inspección *in situ*.

**Vigilancia a distancia.** Estos tipos de sistemas incluyen:

**Vigilancia por vídeo.** La instalación de cámaras que se pueden accionar a distancia permitiría la continua vigilancia de las operaciones de la instalación y reduciría la posibilidad de que se realicen actividades no declaradas sin ser detectadas. Esta técnica no es intrusiva para el explotador, pues lo único que se exige es la iluminación permanente y adecuada de la zona bajo vigilancia.

**Medición y datos contables.** La transmisión a distancia de las informaciones de la inspección ofrecería una garantía más de que no se han llevado a cabo

actividades no declaradas, en especial cuando se utiliza en relación con las inspecciones no anunciadas. El grado en que pueda utilizarse el equipo necesario en una instalación depende de las condiciones de ésta y las prácticas de explotación, y requiere la cooperación del Estado, los SNCC y el explotador de la instalación, quien explotará el equipo que suministra los datos que utilizará el OIEA.

La utilización de la vigilancia a distancia permitirá hacer una reducción en el requisito de inspectores físicamente presentes, y disminuir además la intrusión en la explotación de la instalación. (Véase el cuadro de la página anterior para un examen general de las capacidades de verificación que se adquieren aplicando las nuevas medidas de salvaguardias en los reactores de investigación.)

### Futuros esfuerzos de cooperación

En los últimos años, el OIEA y sus Estados Miembros han venido adoptando medidas para fortalecer la eficacia y aumentar la eficiencia del sistema de salvaguardias. El objetivo es ofrecer garantías de que el material nuclear declarado de un Estado sigue siendo utilizado con fines pacíficos y de que no se conoce la existencia de actividades y materiales nucleares no declarados.

El sistema de salvaguardias "clásicas" basado en la contabilidad del material nuclear ha demostrado ser adecuado para ofrecer garantías sobre la utilización pacífica del material e instalaciones declarados. Sin embargo, es menester fortalecer aún más el sistema en lo que respecta a ofrecer garantías sobre materiales y actividades nucleares no declarados.

Algunas de las nuevas medidas de salvaguardias que ya se han aprobado tienen como objetivo fortalecer el sistema y, en cierto grado, ya se están aplicando. Estas medidas mejoran de manera considerable la capacidad para detectar la desviación de material nuclear declarado y descubrir la producción de material nuclear no declarado. Sin embargo, no permiten determinar la cantidad de material nuclear no declarado que se ha producido mediante actividades no declaradas. El logro de estos objetivos de verificación exigirá mayores esfuerzos de cooperación y la adopción de otras medidas de salvaguardias.

En la actualidad, la Junta de Gobernadores del OIEA examina otras medidas para el fortalecimiento de la eficacia y el aumento de la eficiencia de las salvaguardias. El grado de aplicación de estas otras medidas dependerá del resultado de la labor de la Junta.

Los Estados Miembros del OIEA han respaldado algunas nuevas medidas de salvaguardias y examinan otras. (Cortesía: Pavlicek/OIEA)

