

# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Noviembre de 2019

En línea en  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)



## Reactores de investigación

La imagenología médica mediante reactores de investigación, pág. 12

El aprovechamiento estratégico de los reactores de investigación, pág. 20

Gestión del envejecimiento de los reactores de investigación para garantizar un funcionamiento seguro y eficaz, pág. 30

También contiene:  
Noticias del OIEA



### EL BOLETÍN DEL OIEA

es una publicación de la  
Oficina de Información al Público  
y Comunicación (OPIC)

Organismo Internacional de Energía Atómica  
Vienna International Centre  
PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: (43-1) 2600-0  
iaebulletin@iaea.org

Directora editorial: Nicole Jawerth

Editor: Miklos Gaspar

Diseño y producción: Ritu Kenn

El BOLETÍN DEL OIEA puede consultarse en línea 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 cite su fuente. En caso de que el material que quiera volverse a publicar no sea de la autoría de un miembro del personal del OIEA, deberá solicitarse permiso al autor o a la organización que lo haya redactado, salvo cuando se trate de una reseña.

Las opiniones expresadas en los artículos firmados que figuran en el *Boletín del OIEA* no representan necesariamente las del Organismo Internacional de Energía Atómica y este declina toda responsabilidad al respecto.

Fotografía de la portada: OIEA

Síguenos en:



La misión del Organismo Internacional de Energía Atómica es evitar la proliferación de las armas nucleares y ayudar a todos los países, especialmente del mundo en desarrollo, a sacar provecho de los usos de la ciencia y la tecnología nucleares con fines pacíficos y en condiciones de seguridad tecnológica y física.

El OIEA, creado en 1957 como organismo independiente de las Naciones Unidas, es la única organización del sistema de las Naciones Unidas especializada en tecnología nuclear. Por medio de sus laboratorios especializados, únicos en su clase, transfiere conocimientos y competencias técnicas a sus Estados Miembros en esferas como la salud humana, la alimentación, el agua, la industria y el medio ambiente.

El OIEA, que, además, proporciona una plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear, ha creado la *Colección de Seguridad Física Nuclear*, cuyas publicaciones ofrecen orientaciones a ese respecto que gozan del 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 criminales 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 constituye un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Esas normas han sido elaboradas pensando en que sean aplicables a cualquier tipo de instalación o actividad nuclear destinada a fines pacíficos, así como a las medidas protectoras encaminadas a reducir los riesgos radiológicos existentes.

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

La labor del OIEA es polifacética y se lleva adelante, con participación de muy diversos asociados, a escala 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 y 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, proporciona apoyo y financiación al Centro Internacional de Física Teórica "Abdus Salam", en Trieste (Italia).

# Aprovechar la potencia de los reactores de investigación

**Cornel Feruta, Director General Interino, OIEA**

Desde hace décadas, los reactores de investigación son un poderoso instrumento que impulsa la innovación en la ciencia y la tecnología nucleares en todo el mundo.

En la actualidad, hay 224 reactores de investigación en funcionamiento en 53 países. Forman parte de sus numerosas aplicaciones la producción de radiofármacos para la atención oncológica y la medicina nuclear, la creación de nuevos materiales para la investigación y la industria, y la capacitación de científicos e ingenieros nucleares. Por lo general, no se utilizan para generar electricidad.

El OIEA lleva más de 60 años ayudando a los países a establecer, explotar y mantener reactores de investigación para cosechar los grandes beneficios que ofrecen a la ciencia y la sociedad.

En la presente edición del *Boletín del OIEA* se examinan los reactores de investigación y las muchas maneras en que el OIEA ayuda a los países a aprovechar al máximo sus beneficios. Se presenta una visión general de cómo se utilizan (página 4), por ejemplo, en la producción de radioisótopos para exploraciones médicas (página 12) y la enseñanza y capacitación de profesionales del sector nuclear (página 14). Un recorrido fotográfico ofrece una mirada al interior de un reactor de investigación en Jordania (página 16).

Para los países que estén iniciando un programa de reactores de investigación, el enfoque de los hitos del OIEA ofrece un método escalonado integral a fin de desarrollar la infraestructura necesaria para usar estos versátiles instrumentos de manera segura y fiable (página 6). Para los países que ya cuentan con reactores de investigación o que prevén construir más, los servicios de examen por homólogos del OIEA facilitan una vía para evaluar y mejorar la seguridad tecnológica, la seguridad física y la explotación (página 22).

Muchos países colaboran con el OIEA para sacar el máximo provecho a los reactores de investigación que utilizan, en particular los que se construyeron hace décadas sin un plan estratégico a largo plazo (página 20). Bélgica, por

ejemplo, está poniendo en marcha planes de gestión y envejecimiento para optimizar el uso de sus reactores de investigación durante los próximos decenios (página 30). Uzbekistán, por otro lado, ha trabajado con los expertos del OIEA para clausurar uno de sus reactores de investigación (página 32).

Los reactores de investigación siempre deben utilizarse de forma tecnológica y físicamente segura. Muchos países trabajan con el OIEA para integrar sistemas y medidas de seguridad física en los reactores de investigación actuales y nuevos (página 24), aplicar reglamentos de seguridad (página 8) y establecer una sólida cultura de la seguridad (página 10).

El OIEA ha desempeñado una función activa en los esfuerzos internacionales por convertir los reactores de investigación para que utilicen uranio poco enriquecido (UPE) en lugar de uranio muy enriquecido (UME) a fin de reducir al mínimo el uso civil de UME, así como los riesgos de seguridad física y de proliferación asociados (página 26). Los inspectores de salvaguardias del OIEA verifican que los materiales y la tecnología nucleares de los reactores de investigación no se desvíen de los usos pacíficos (página 28).

La Conferencia Internacional del OIEA sobre Reactores de Investigación: Examen de los Desafíos y las Oportunidades para Garantizar la Eficacia y la Sostenibilidad, que se celebrará del 25 al 29 de noviembre de 2019, examinará todas estas esferas y brindará una plataforma para que explotadores, directivos, usuarios, reguladores, diseñadores y suministradores de los reactores intercambien prácticas óptimas y aprendan los unos de los otros. Espero que esta edición del *Boletín del OIEA* aporte ideas útiles que contribuyan a fomentar los debates durante la conferencia y en el futuro.



(Fotografía: OIEA)

## 1 Aprovechar la potencia de los reactores de investigación



### 4 Los reactores de investigación y su uso



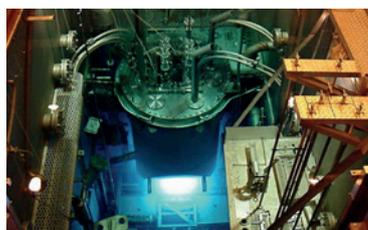
### 6 Desarrollo de la infraestructura nuclear para aprovechar los beneficios de los reactores de investigación



### 8 Regulación de los reactores de investigación en Marruecos y otros lugares



### 10 Liderazgo y gestión para la seguridad Entrevista al Director de Operaciones del Grupo de Investigación Nuclear y Consultoría (NRG) de los Países Bajos



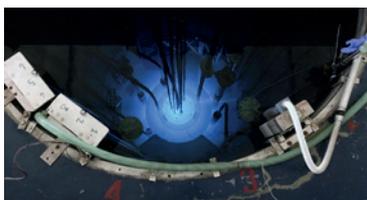
### 12 La imagenología médica mediante reactores de investigación



### 14 Creación de competencias y conocimientos mediante los reactores de investigación



### 16 Seguridad de principio a fin Una visita a la instalación del reactor de investigación de Jordania



## 20 El aprovechamiento estratégico de los reactores de investigación



## 22 Mejora de la seguridad tecnológica, la seguridad física y la fiabilidad

Las misiones de examen por homólogos del OIEA para los reactores de investigación



## 24 En busca de la solución adecuada

El encaje de la seguridad física nuclear en los reactores de investigación

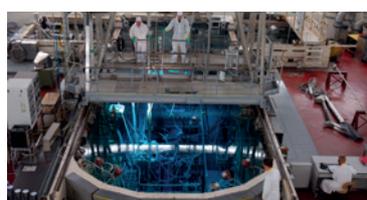


## 26 Los países apuestan por el uranio poco enriquecido como combustible para sus reactores de investigación



## 28 Verificar la investigación

Aplicación de salvaguardias en los reactores de investigación



## 30 Gestión del envejecimiento de los reactores de investigación para garantizar un funcionamiento seguro y eficaz



## 32 Clausura del primer reactor de investigación de Uzbekistán

Panorama mundial

## 34 Mantener la sostenibilidad de los reactores de investigación

— *Helmuth Boeck*

Actualidad del OIEA

## 36 Noticias

## 40 Publicaciones

# Los reactores de investigación y su uso

Nicole Jawerth y Elisa Mattar

Desde hace más de 60 años, los reactores de investigación han dado al mundo un instrumento versátil para ensayar materiales y promover la investigación científica, así como para desarrollar y producir materiales radiactivos que son fundamentales para establecer diagnósticos y, en algunos casos, tratar enfermedades. Existe una gran variedad de diseños de reactores de investigación y una gama aún más amplia de aplicaciones que ofrecen beneficios socioeconómicos para ayudar a los países de todo el mundo a alcanzar sus objetivos de desarrollo sostenible.

Hasta la fecha se han construido más de 800 reactores de investigación. Si bien con el paso de los años muchos se han puesto en régimen de parada y se han clausurado, 224 siguen funcionando en 53 países. En la actualidad, se están construyendo 9 reactores de investigación, y durante el último decenio se han construido más de 10. Dado que la mayoría se construyeron durante las décadas de 1960 y 1970, hoy la mitad de los reactores de investigación en funcionamiento tienen más de 40 años y alrededor del 70 % tienen más de 30.

## ¿Qué son los reactores de investigación?

Los reactores de investigación son reactores nucleares pequeños que se usan principalmente para producir neutrones, a diferencia de los reactores nucleares de potencia, que son de mayor tamaño y se emplean para generar electricidad. En comparación con los reactores nucleares de potencia, los de investigación presentan un diseño más simple, funcionan a temperaturas inferiores, requieren mucho menos combustible y, por lo tanto, generan muchos menos desechos. Dada su importante función en la investigación y el desarrollo, muchos de estos reactores se encuentran en campus universitarios e institutos de investigación.

La potencia de los reactores de investigación se designa en megavatios (MW); 1 MW equivale a 1 millón de vatios, y el vatio es una unidad de potencia. La potencia de salida de los reactores de investigación se sitúa entre 0 MW, como la de un conjunto crítico, y 200 MW, frente a los 3000 MW (también designados como 1000 MW (eléctricos)) de una unidad de un

gran reactor nuclear de potencia. Sin embargo, la mayoría de los reactores de investigación tienen una potencia de salida inferior a 1 MW.

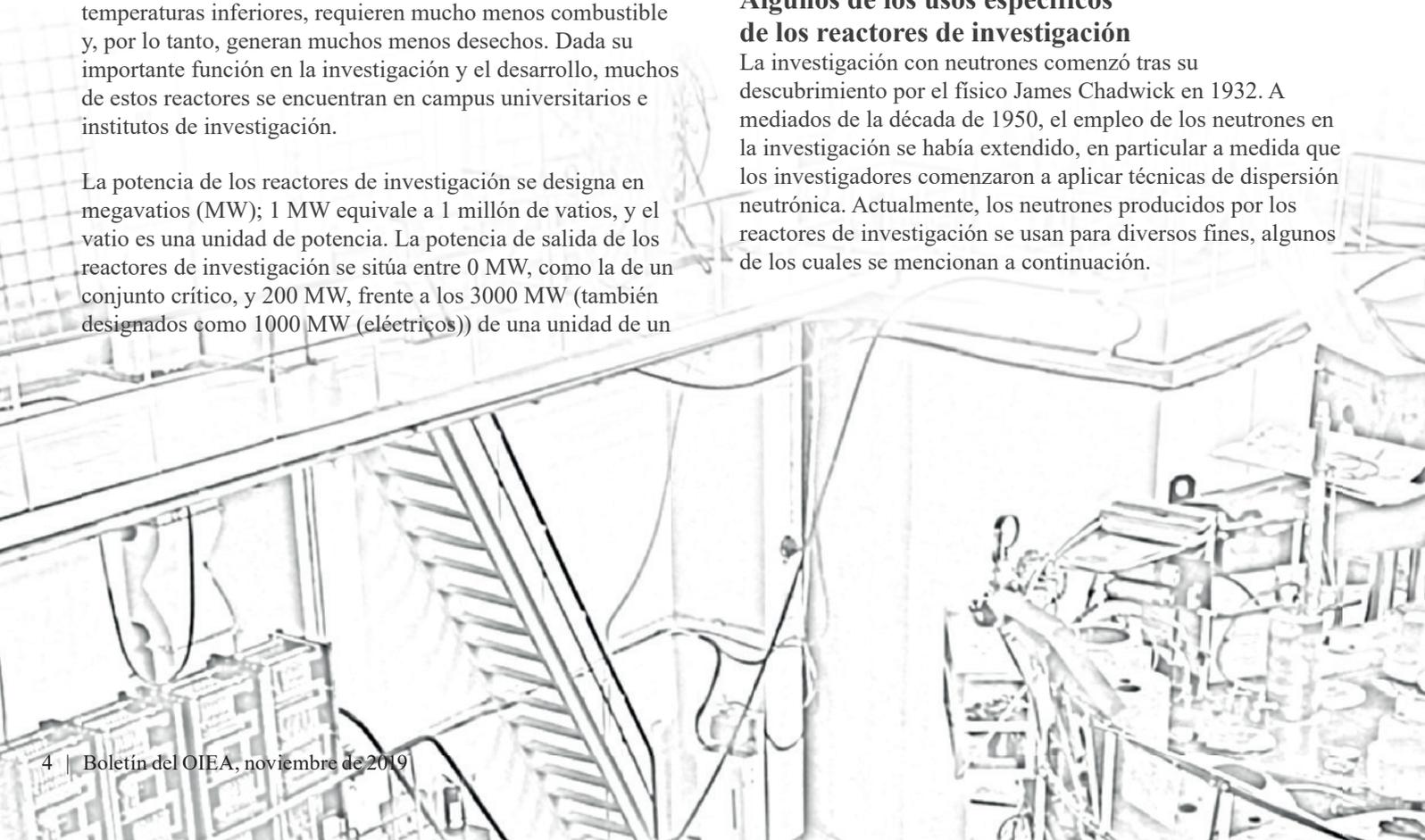
## ¿Cómo se utilizan los reactores de investigación?

Los neutrones —partículas subatómicas presentes en casi todos los átomos— producidos por los reactores de investigación son útiles para los estudios científicos a nivel atómico y microscópico. Se emplean para producir radioisótopos de uso médico y para irradiar materiales a fin de desarrollar reactores de fisión y fusión, entre otras aplicaciones. Estas partículas se usan principalmente en esferas como la industria, la medicina, la agricultura, la criminalística, la biología, la química y la geocronología.

A diferencia de los reactores de potencia, los reactores de investigación también se pueden utilizar con fines de enseñanza y capacitación. Esto se debe a su menor complejidad, lo que significa que sus sistemas y sus diseños generales son simples y de fácil acceso, gracias a lo cual se pueden simular diferentes condiciones del reactor de manera segura. Los reactores de investigación pueden utilizarse para dar formación a los explotadores de los reactores, al personal de mantenimiento y explotación de las instalaciones nucleares, al personal de protección radiológica, al de los órganos reguladores, a estudiantes y a investigadores.

## Algunos de los usos específicos de los reactores de investigación

La investigación con neutrones comenzó tras su descubrimiento por el físico James Chadwick en 1932. A mediados de la década de 1950, el empleo de los neutrones en la investigación se había extendido, en particular a medida que los investigadores comenzaron a aplicar técnicas de dispersión neutrónica. Actualmente, los neutrones producidos por los reactores de investigación se usan para diversos fines, algunos de los cuales se mencionan a continuación.



La **dispersión neutrónica** es una técnica de análisis que permite comprender la estructura y el comportamiento de los sólidos y la materia condensada. Dado que los neutrones interactúan con los átomos de la materia, su energía y otras propiedades pueden cambiar. Estos cambios pueden utilizarse para estudiar la estructura y dinámica de la materia. Las propiedades de los neutrones también los hacen especialmente útiles para el estudio del hidrógeno, de objetos grandes y pequeños, y de innumerables materiales, entre ellos los magnéticos. Esto sirve, entre otras cosas, para comprender cómo se reparan los huesos, estudiar las proteínas del cerebro, mejorar las baterías y crear imanes.

Para el **análisis de materiales**, con frecuencia se combinan los neutrones y los rayos X, ya que brindan información complementaria. Los neutrones son sensibles a elementos más ligeros, en particular al hidrógeno presente en el agua y al material biológico, mientras que los rayos X son más sensibles a elementos más pesados, como el hierro presente en el acero. La combinación de las técnicas neutrónicas y de rayos X permite lograr una mayor sensibilidad a todos los componentes de una muestra u objeto.

El uso de neutrones para el desarrollo y el **estudio de materiales** contribuye al conocimiento científico y al desarrollo de tecnologías en diversos ámbitos, desde la electrónica hasta la medicina y los materiales de construcción para condiciones extremas, tales como equipos para trabajar en el espacio y en centrales nucleares.

Los reactores de investigación también proporcionan neutrones que pueden utilizarse para ayudar a los investigadores a caracterizar objetos del patrimonio cultural, como pinturas y monumentos. Las técnicas basadas en neutrones permiten distinguir entre los diferentes tipos de materiales empleados en las obras de arte, como la pintura, y la composición elemental y textura de los objetos, como las rocas. Estos métodos se denominan “**ensayos no destructivos**” porque permiten a los investigadores estudiar los objetos sin dañarlos.

La **irradiación neutrónica** también puede emplearse para crear nuevos materiales con propiedades de interés. Por ejemplo, el silicio se irradia con neutrones a fin de cambiar su conductividad para usarlo en semiconductores de alta potencia.

Los reactores de investigación también se emplean en la **producción de radioisótopos**. Los radioisótopos son elementos inestables que recuperan la estabilidad tras experimentar decaimiento radiactivo. Durante el proceso de decaimiento, se emiten varios tipos de radiación, que pueden usarse en aplicaciones médicas o industriales.

Una de las aplicaciones más comunes de los radioisótopos es el diagnóstico y tratamiento de enfermedades como el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. El radioisótopo más utilizado en medicina es el tecnecio  $^{99m}$ , que se deriva del radioisótopo molibdeno  $^{99}$  y se emplea para el diagnóstico por imagen (véase la página 12).

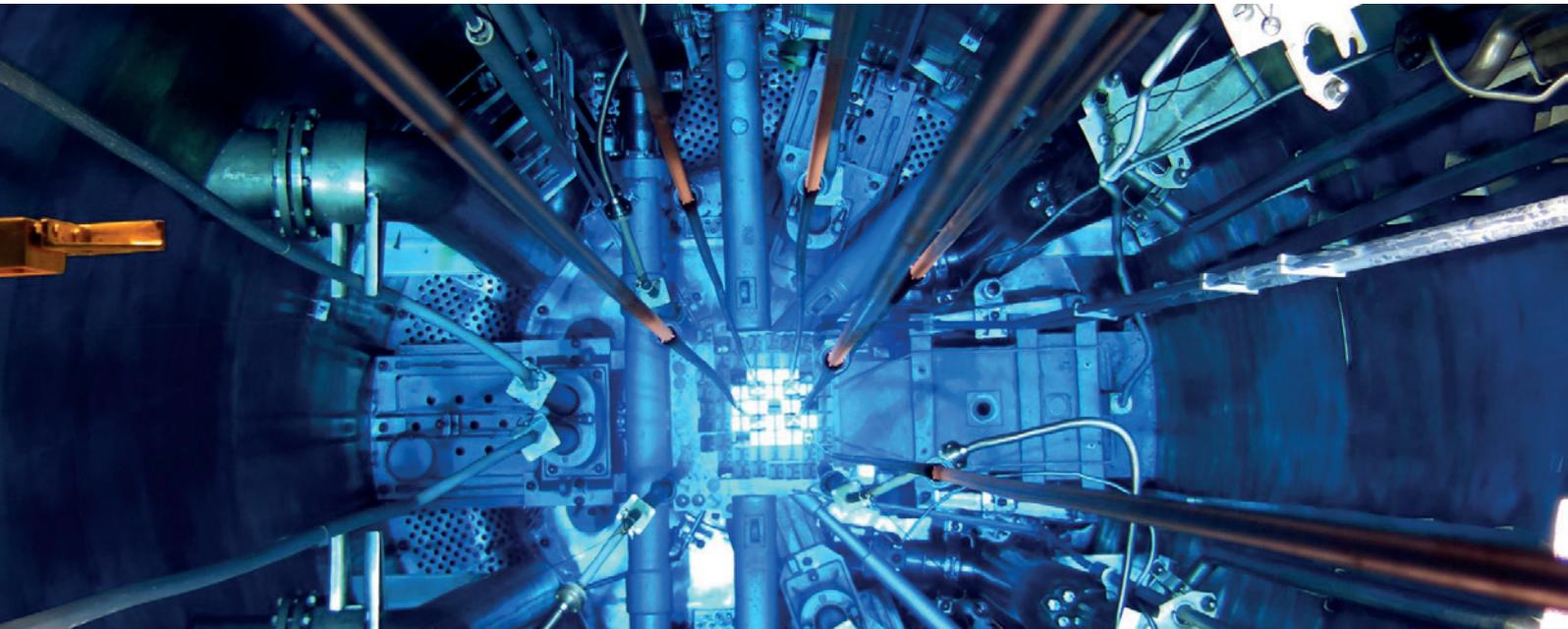
### Apoyo al uso de los reactores de investigación

El OIEA cuenta con décadas de experiencia en la promoción del uso de los reactores de investigación en todo el mundo. Presta asistencia a los países en todas las fases de un proyecto de reactor de investigación, desde la planificación, la construcción, la puesta en servicio y la explotación, hasta la clausura y el desmantelamiento al final de la vida útil. Además, el OIEA apoya a los países en la tarea de optimizar la utilización eficaz y sostenible de sus reactores de investigación (véase la página 20) y ayuda a los que no tienen este tipo de reactores a acceder a ellos, de manera que también puedan beneficiarse de estos poderosos instrumentos. Este apoyo se presta mediante actividades de capacitación, talleres, intercambios de conocimientos especializados y prácticas óptimas y servicios de examen por homólogos (véase la página 22), así como mediante documentos de orientación, normas y acceso remoto a la enseñanza y a cursos de aprendizaje electrónico. El OIEA también presta apoyo a los países para abordar la seguridad tecnológica y física en los reactores de investigación, comprendida la conversión tecnológica y físicamente segura de los reactores de investigación para que utilicen combustible de uranio poco enriquecido en lugar de combustible de uranio muy enriquecido (véase la página 26).



# Desarrollo de la infraestructura nuclear para aprovechar los beneficios de los reactores de investigación

Matt Fisher



## Núcleo de un reactor de investigación.

(Fotografía: OIEA)

Los reactores de investigación pueden utilizarse para varios fines, desde capacitar a ingenieros nucleares y realizar investigaciones científicas, hasta producir radioisótopos y desarrollar materiales avanzados. Sin embargo, antes de que un país pueda emprender un nuevo proyecto de reactor de investigación, debe contar con la infraestructura adecuada.

“El OIEA proporciona orientación sobre cuestiones relativas al establecimiento y la ejecución de proyectos de reactores de investigación, que incluyen, entre otras, los marcos jurídicos y reguladores, el desarrollo de recursos humanos, las salvaguardias y la seguridad física y tecnológica”, dice Andrey Sitnikov, Jefe Técnico en materia de creación de capacidad e infraestructura para reactores de investigación del OIEA. “El enfoque de los hitos del OIEA ayuda a los países a elaborar de forma eficaz y holística sus programas de reactores de investigación para que puedan utilizarlos de manera segura y fiable”.

## Enfoque de los hitos

El enfoque de los hitos es un amplio mecanismo dividido en tres fases que definen lo que un país debe lograr en 19 ámbitos del desarrollo de infraestructura, como la seguridad nuclear, los recursos humanos, la financiación y la gestión, entre otros.

Puede emplearse tanto para los programas nucleoelectricos como para los programas de reactores de investigación.

Si bien las líneas generales del enfoque son en gran medida similares tanto para los programas de reactores de investigación como para los programas nucleoelectricos, la principal diferencia se relaciona con el grado de utilización: los reactores de investigación presentan una gran variedad de aplicaciones, mientras que los reactores nucleares de potencia se emplean principalmente para generar electricidad. Esto significa que cuando un país sigue el enfoque de los hitos para los reactores de investigación, primero debe determinar para qué se utilizará el reactor. Conocer la finalidad del reactor de investigación es fundamental no solo para determinar los elementos específicos de infraestructura que se requieren, como los tipos de especialistas que deben contratarse y las instalaciones que deben construirse, sino también para aplicar eficazmente el enfoque de los hitos.

## Tres etapas principales de desarrollo

El proceso de desarrollo del reactor de investigación se organiza en tres etapas principales: la elaboración de un informe de viabilidad para justificar la necesidad del proyecto de reactor de investigación; los preparativos para la

construcción del reactor, lo que incluye el establecimiento de los marcos jurídico y regulador; y la construcción y puesta en servicio del nuevo reactor.

Cada fase tiene un “hito” que cumplir, que permite a un país hacer un seguimiento de los progresos realizados y evaluar su preparación antes de comenzar a trabajar en la siguiente fase. El hito 1 se logra cuando un país está listo para comprometerse a emprender un programa de reactores de investigación; el hito 2 se completa cuando un país está listo para comenzar las negociaciones de un contrato para la construcción y explotación del reactor; y el hito 3 se alcanza cuando el reactor está listo para la puesta en servicio.

### Examen y mejora

Evaluar la infraestructura existente y lo que queda por desarrollar es un paso importante para establecer o ampliar un programa de reactores de investigación. El OIEA ayuda a los países que lo solicitan a examinar su situación y determinar los aspectos en que podría ser necesario introducir mejoras por conducto de las misiones del Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear para Reactores de Investigación (INIR-RR). Se trata de misiones de examen por homólogos coordinadas por el OIEA, de naturaleza holística, que llevan a cabo grupos internacionales formados por expertos del OIEA y expertos externos con experiencia directa en la infraestructura nuclear especializada de los reactores de investigación.

Antes de una misión, el país interesado primero completará un informe de autoevaluación sobre las 19 cuestiones de infraestructura de conformidad con la publicación del OIEA titulada *Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project*. A continuación, los expertos evalúan la situación sobre la base de las pruebas, entre las que se incluyen planes estratégicos y consideraciones relativas al emplazamiento, recopiladas durante la misión INIR-RR.

Tras completar la misión, el equipo INIR-RR prepara un informe con recomendaciones de medidas que han de aplicarse. Se puede realizar una misión de seguimiento unos dos años después de la misión inicial a fin de evaluar el estado de aplicación de las recomendaciones. Por lo general, se fija un plan de acción entre el país y el OIEA para crear capacidades específicas en alguna de las 19 cuestiones de infraestructura, teniendo en cuenta las conclusiones del examen.

### Primera misión INIR-RR

La primera misión INIR-RR tuvo lugar en Nigeria en febrero de 2018. Nigeria tiene un reactor de investigación miniatura fuente de neutrones (MNSR) de 30 kW(t), que ha estado en funcionamiento desde 2004 y se usa para actividades de capacitación y análisis por activación neutrónica, pero no puede emplearse para otras aplicaciones.

Las autoridades del país prevén la construcción de un reactor multipropósito más grande y versátil destinado a aplicaciones como la producción de radioisótopos para la

atención oncológica y la conservación de alimentos. Ese reactor también serviría para aumentar la experiencia en la explotación de reactores mayores y ayudaría al país en su camino hacia un posible programa nucleoelectrónico en el futuro.

Dado que Nigeria ya tiene un programa de reactores de investigación, hasta cierto punto ya se han abordado la mayoría de los requisitos de infraestructura para el reactor multipropósito; sin embargo, para explotar un reactor de investigación mayor es necesario seguir fortaleciendo y consolidando la infraestructura existente. En las recomendaciones formuladas por el equipo de la misión INIR-RR se subrayó que debía prestarse mayor atención al desarrollo de recursos humanos. Nigeria prevé que el reactor se ponga en servicio en 2025.

### Expansión para alcanzar más logros

En los planes de Viet Nam también figura la construcción de un reactor multipropósito a fin de expandir su programa para ampliar el alcance de lo que el país puede lograr mediante los reactores de investigación. En la actualidad, Viet Nam explota un reactor de investigación relativamente pequeño —un reactor de tipo piscina de 500 kW(t)— para diversas aplicaciones, entre las que se encuentran la producción limitada de radioisótopos y actividades de investigación y desarrollo de haces de neutrones.

En diciembre de 2018 se realizó una misión INIR-RR en Viet Nam. El equipo de la misión concluyó que Viet Nam había realizado importantes progresos en su labor de establecer la infraestructura necesaria para un reactor multipropósito. Las recomendaciones incluyeron llevar a cabo una evaluación más detallada sobre la utilización del reactor y fortalecer la independencia del órgano regulador.

“El reactor de investigación previsto de 10-15 MW(t) mejorará nuestra capacidad en materia de investigación científica, enseñanza y capacitación, y producción de radioisótopos”, dice Hoang Anh Tuan, Director General del Organismo de Energía Atómica de Viet Nam. Viet Nam prevé poner en servicio el reactor multipropósito para 2026. “Gracias a la misión INIR-RR, identificamos los ámbitos que requieren un mayor desarrollo de la infraestructura, como nuestra estrategia de gestión de desechos radiactivos y nuestro marco regulador”.

# Regulación de los reactores de investigación en Marruecos y otros lugares

Laura Gil

Que los reactores de investigación puedan ser más pequeños y más simples que los reactores nucleares de potencia y requerir menos combustible que estos no los exime de tener que cumplir unos reglamentos de seguridad tecnológica y física estrictos.

“Toda actividad o práctica en la que intervengan fuentes de radiación ionizante, a menos que esté exenta o se haya excluido del régimen de reglamentación, debe regularse y controlarse. Si no se controla, podría acarrear más daños que beneficios”, dice Khammar Mrabit, Director General de la Agencia de Seguridad Tecnológica y Física Nuclear y Radiológica de Marruecos (AMSSNuR). “La supervisión reglamentaria es necesaria para garantizar la seguridad tecnológica y física”.

Una de las funciones clave del OIEA es prestar apoyo a las autoridades reguladoras en todo el mundo en la tarea de garantizar la seguridad nuclear tecnológica y física de los reactores de investigación. En el caso de Marruecos, que explota un reactor de investigación TRIGA Mark II, el OIEA ha ayudado al órgano regulador a convertirse en un ejemplo de inspecciones rigurosas, independencia y fiabilidad.

El reactor de investigación TRIGA Mark II, que forma parte del Centro Nacional de Energía, Ciencias y Tecnologías Nucleares (CNESTEN), comenzó a funcionar en 2007. En la legislación nuclear del país, promulgada en 1971, y en su legislación sobre responsabilidad civil, promulgada en 2005,

no se previeron posibles amenazas como el terrorismo nuclear, y, según el Sr. Mrabit, el órgano regulador carecía a la sazón de suficiente independencia, por lo que recurrió al OIEA en busca de ayuda.

“Por un lado, están la legislación y los reglamentos; por el otro, los explotadores, que son los principales responsables de la seguridad. Entre ambos y permanentemente, se necesita de un órgano regulador independiente con unas funciones y unas responsabilidades claramente definidas en materia de, por ejemplo, autorización e inspección”, expresa el Sr. Mrabit.

En 2014, el OIEA ayudó a Marruecos a elaborar y promulgar una nueva legislación nuclear y a crear un nuevo órgano regulador independiente que depende del Primer Ministro del país. En 2016, expertos de la AMSSNuR elaboraron un plan de acción estratégico para mejorar su sistema de reglamentación. Más de 30 partes interesadas de los ministerios, las organizaciones profesionales y los institutos de apoyo técnico pertinentes y el OIEA participaron en el proceso.

El reactor de investigación TRIGA Mark II es la mayor instalación nuclear de Marruecos y, por lo tanto, es prioritaria para las autoridades y los expertos técnicos del país. Contribuye a diversas actividades, como la investigación y la capacitación en las esferas de la medicina nuclear, las aplicaciones industriales y la gestión de los desechos radiactivos. El apoyo del OIEA en materia de supervisión



reglamentaria incluye misiones de examen (véase la página 22), asistencia en la elaboración de reglamentos y conocimientos técnicos especializados.

Marruecos también se ha convertido en un centro nodal de capacitación para la supervisión reglamentaria de los reactores de investigación en África del Norte y otros lugares.

“Se necesita de una visión y un plan claros”, señala Farhana Naseer, funcionaria de seguridad nuclear del OIEA. “Marruecos ha tenido un enfoque coherente, estratégico y graduado desde el primer día. La experiencia del país será una buena fuente de prácticas óptimas y un modelo para otros países”.

## FORO

Distintos países de otras regiones también están intercambiando prácticas óptimas sobre supervisión reglamentaria de los reactores de investigación. Por ejemplo, los órganos reguladores del FORO —el Foro Iberoamericano de Organismos Reguladores Radiológicos y Nucleares— están compartiendo sus propias prácticas óptimas y prestándose apoyo en la esfera de la inspección reglamentaria en el marco de un proyecto conjunto.

“La idea es intercambiar experiencias y tener unos criterios de reglamentación comunes para todos los reactores”,

apunta Gerardo Lázaro, coordinador del proyecto y experto responsable de la inspección de reactores de investigación del Instituto Peruano de Energía Nuclear. “Hemos estado trabajando muy bien durante 30 años, utilizando las normas del OIEA como referencia”, dice. “Se ha acumulado mucha experiencia en todos los reactores de investigación de la región. Es importante que intercambiemos las experiencias y los conocimientos adquiridos para seguir mejorando”.

El objetivo del proyecto es elaborar, con el apoyo del OIEA, un manual de inspección normalizado en español para los explotadores de reactores nucleares de investigación. Está previsto finalizar el texto en 2020, que irá acompañado de orientaciones de referencia en materia de reglamentación sobre la vigilancia de la gestión del envejecimiento de los reactores de investigación, un aspecto que despierta un creciente interés porque todos los reactores de investigación de los países del FORO llevan varios años funcionando.

En la actualidad hay 16 reactores de investigación en activo en 9 países de América Latina y el Caribe, 15 de los cuales se encuentran en países del FORO. Estos reactores prestan servicios esenciales, que van desde la investigación académica y la educación hasta aplicaciones en agricultura y el medio ambiente y la producción de radioisótopos para usos médicos e industriales.

## Inspección reglamentaria en un reactor de investigación.

(Fotografía: AMSSNuR)



# Liderazgo y gestión para la seguridad

## Entrevista al Director de Operaciones del Grupo de Investigación Nuclear y Consultoría (NRG) de los Países Bajos

### Laura Gil

*La seguridad es primordial en todas las instalaciones nucleares, incluidos los reactores de investigación. Es esencial fomentar una cultura de comprensión entre el personal con respecto a la importancia de la seguridad y las medidas que se requieren para mantenerla, es decir, una cultura de la seguridad. Una cultura de la seguridad débil puede dar lugar a medidas de seguridad débiles que, en última instancia, pueden afectar el bienestar de las personas y del medio ambiente. Pero ¿cómo se garantiza la seguridad? ¿Cuáles son algunos de los principales problemas de seguridad en los reactores de investigación y por qué son fundamentales el liderazgo y la gestión para enfrentarlos? Con el fin de averiguarlo, entrevistamos a Jelmer Offerein, Director de Operaciones y uno de los cinco líderes del NRG. Tiene años de experiencia en liderazgo y gestión para la seguridad.*

*NRG es una empresa de investigación que cuenta con 650 empleados y que explota el Reactor de Alto Flujo de la Comisión Europea, un reactor de investigación multipropósito en los Países Bajos. NRG produce isótopos, lleva a cabo investigaciones en materia de tecnología nuclear; asesora a las industrias acerca de la seguridad y fiabilidad de las instalaciones nucleares y presta servicios relacionados con la protección radiológica.*

### **P: ¿Podría contarnos un poco sobre la estrategia de NRG y cómo aborda la seguridad?**

**R:** La estrategia de NRG es muy simple: queremos ser el mayor productor mundial de isótopos de uso médico. En 2008 afirmamos por primera vez que seríamos productores de isótopos de uso médico. Once años más tarde, aquí estamos. Somos uno de los mayores productores de molibdeno 99, pero aún no somos el principal productor de isótopos de uso médico. Para eso hace falta tiempo.

La industria de los isótopos de uso médico está creciendo: los volúmenes de producción aumentan cada año, lo cual sin duda es positivo, pero hay que adaptar la organización a ese hecho. Hacen falta más operadores, más equipos, más contenedores, más herramientas, más capacitación y personal más cualificado. Y hay que hacer todo esto de modo tal que la seguridad y la fiabilidad no se vean comprometidas.

Para garantizar la seguridad hace falta una estrategia clara. Nos dimos cuenta de que, en el pasado, hacíamos muchas cosas simultáneamente. Si las personas tienden a hacer cinco o seis cosas al mismo tiempo, la calidad disminuye y, entonces, los niveles de seguridad también pueden disminuir. Es más inteligente hacer menos cosas y hacerlas mejor. Menos, pero bien. Y para ello, hay que tener un enfoque y una estrategia claros.

### **P: ¿Cómo influyen los líderes y los directivos en la seguridad de los reactores de investigación?**

**R:** En mi opinión, uno de los aspectos más importantes que deben tenerse en cuenta son las expectativas de las personas. Hemos tenido directivos que no hablaban nunca de la seguridad y, si no hablas de la seguridad, los trabajadores no saben lo que se espera de ellos. Los líderes deben escuchar al personal y saber cuáles son sus preocupaciones. También deben motivarlos e inspirarlos.

Un líder también tiene que mostrar un comportamiento ejemplar, especialmente en lo que respecta a la seguridad. Tengo una buena anécdota que lo ilustra y que tiene que ver con cómo deben estacionarse los automóviles en las instalaciones del reactor de investigación: por motivos de seguridad, debe hacerse marcha atrás en el espacio correspondiente. Una mañana, a principios de mi carrera, cuando apenas había empezado a trabajar como ingeniero directivo, estacioné al revés y uno de mis colegas me dijo: “Jelmer, estacionaste mal”. En ese momento me di cuenta de que si yo estacionaba mal, todo el mundo tendría derecho a hacerlo también. Aquello me abrió los ojos; me di cuenta de la importancia de dar el ejemplo. En temas de seguridad no puedes permitirte “estacionar mal”. Desde entonces, siempre lo he estacionado bien.

**P: Cuando se habla de cultura de la seguridad, se hace una distinción entre liderazgo y gestión. ¿En qué consiste esa distinción y por qué es tan importante para la seguridad?**

**R:** Se puede ilustrar esta diferencia si pensamos que los directivos están detrás de un grupo de personas y les dicen qué hacer, mientras que los líderes forman parte de ese grupo y guían a esas personas. En mi opinión, los directivos elaboran y controlan los planes anuales, y se aseguran de que se ejecuten. Los líderes, además, crean una visión, explican a sus trabajadores por qué esos planes son necesarios y colaboran con ellos para ejecutarlos. En última instancia, un buen directivo es también un líder y un buen líder es también un directivo.

**P: ¿Qué papel ha desempeñado el OIEA en la seguridad de su reactor de investigación?**

**R:** Hace ya mucho que NRG y el OIEA trabajan estrechamente. El OIEA nos ha ayudado creando una plataforma para intercambiar experiencias y conocimientos y elaborar guías de seguridad en estrecha consulta con la industria, así como visitándonos con misiones, como las de Evaluación Integrada de la Seguridad de Reactores de

Investigación (INSARR), que se centraron fundamentalmente en los aspectos técnicos de la seguridad. Como también queríamos conocer el estado de nuestra cultura de la seguridad y averiguar qué ámbitos convenía mejorar, solicitamos una misión de Evaluación Independiente de la Cultura de la Seguridad (ISCA) del OIEA.

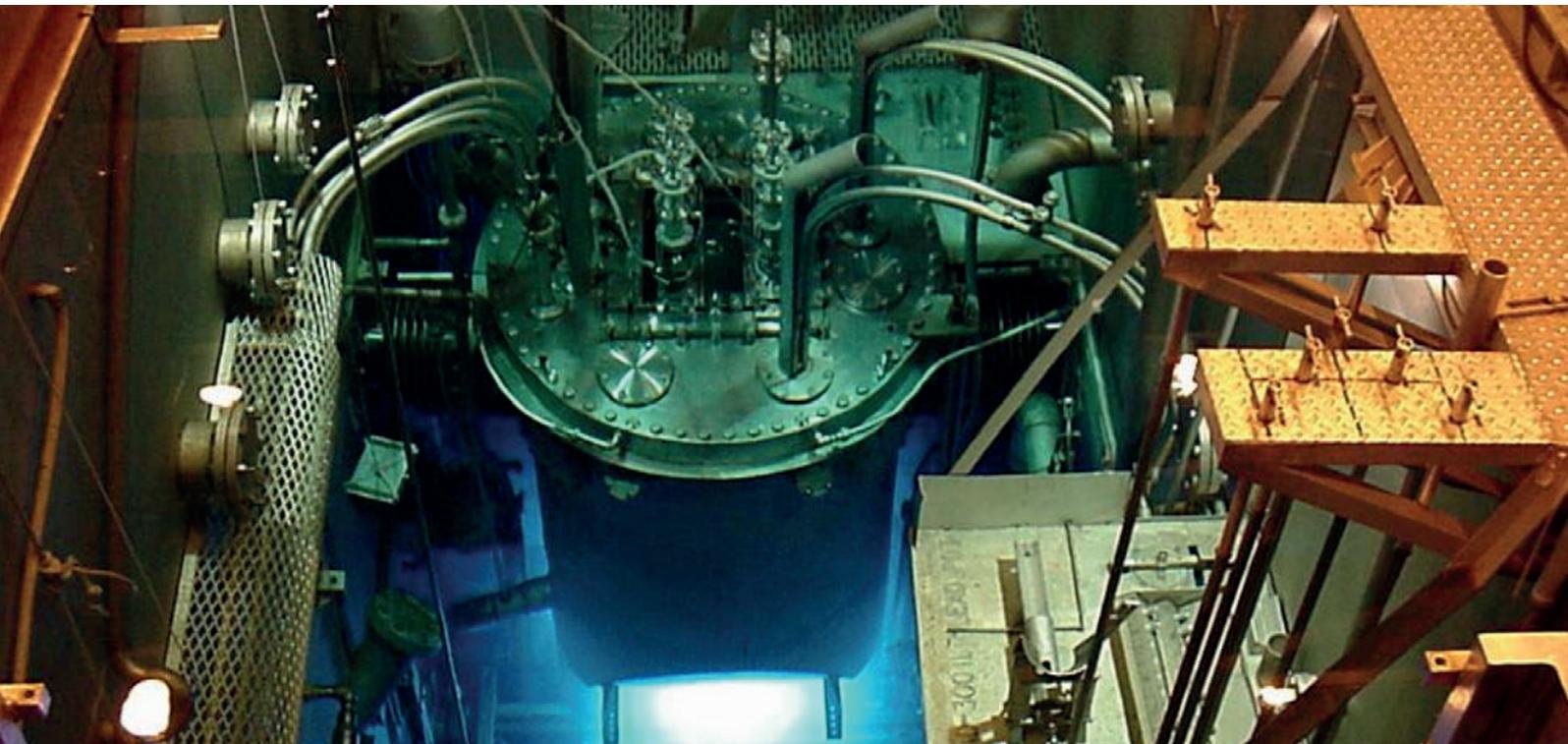
En 2017, un equipo ISCA liderado por expertos nos visitó para evaluar nuestra cultura de la seguridad. Analizaron documentos, entrevistaron a los trabajadores, examinaron nuestro sistema de gestión integrada, así como nuestro programa de capacitación y cualificación, y organizaron grupos para observar la dinámica y las interacciones entre los empleados. El informe de la ISCA reveló que sin duda estábamos en la senda correcta, pero que había ámbitos por mejorar.

Uno de estos ámbitos era nuestra “cultura de aislamiento”: tenemos distintas instalaciones rodeadas de enormes vallas de seguridad, lo que dificulta el contacto entre los empleados. Desde el punto de vista de la seguridad, eso es perfecto, pero no es lo ideal si queremos dialogar con colegas sobre distintos temas. También trabajamos en la mejora de las descripciones de las funciones y responsabilidades de cada uno y en la integración de esas funciones en el sistema de gestión.

Prestamos atención a todos esos ámbitos. El equipo regresó 18 meses más tarde para examinar la aplicación de las recomendaciones y constató que habíamos avanzado en la mejora de nuestra cultura de la seguridad. Por supuesto, es un proceso sin fin —el mundo que nos rodea cambia rápidamente, así que debemos seguir mejorando y adaptándonos.

# La imagenología médica mediante reactores de investigación

Aleksandra Peeva y Nicole Jawerth



## El reactor de investigación SAFARI-1 en funcionamiento.

(Fotografía: Neicsa)

Más del 80 % de las imágenes médicas que se utilizan cada año para diagnosticar enfermedades como el cáncer se obtienen gracias a fármacos que, en su mayor parte, se producen en reactores de investigación. Estos radiofármacos contienen el radioisótopo tecnecio  $^{99m}\text{Tc}$ , derivado del radioisótopo molibdeno  $^{99}\text{Mo}$ , que se produce principalmente en los reactores de investigación.

“Si bien el  $^{99}\text{Mo}$  e incluso el  $^{99m}\text{Tc}$  se pueden producir con otros métodos, los reactores de investigación son particularmente rentables y apropiados para ello, en especial para la producción comercial a gran escala”, dice Joao Osso, Jefe de la Sección de Productos Radioisotópicos y Tecnología de la Radiación del OIEA. “Esto se debe a que pueden producir grandes cantidades de  $^{99}\text{Mo}$  con las características adecuadas para extraer fácilmente  $^{99m}\text{Tc}$  mediante un generador en un hospital, manteniendo así un suministro constante y fiable de radiofármacos para más pacientes”.

## De los reactores a los pacientes

Los reactores de investigación son reactores que, en lugar de generar electricidad, se emplean fundamentalmente para producir neutrones destinados a otras aplicaciones. Estos neutrones pueden utilizarse con diversos fines, como producir  $^{99}\text{Mo}$  irradiando blancos de uranio 235.

Al ser un radioisótopo, el  $^{99}\text{Mo}$  es un átomo inestable que experimenta decaimiento. Tienen que pasar 66 horas para que la mitad del  $^{99}\text{Mo}$  producido decaiga, fenómeno que se conoce como período de semidesintegración. El producto de la desintegración del  $^{99}\text{Mo}$ , también denominado su “descendiente”, es el  $^{99m}\text{Tc}$ .

Para obtener  $^{99m}\text{Tc}$ , los blancos de uranio 235 irradiados se trasladan a una instalación de procesamiento, por lo general cerca de un reactor de investigación, a fin de separar el  $^{99}\text{Mo}$  de otros productos de fisión y purificarlo. El  $^{99}\text{Mo}$  purificado luego se transporta a una instalación de producción de generadores de  $^{99}\text{Mo}/^{99m}\text{Tc}$ , dispositivos utilizados para albergar, transportar y extraer químicamente el  $^{99m}\text{Tc}$  a partir del  $^{99}\text{Mo}$  de forma directa en un hospital u otra instalación médica.

En un generador típico, el óxido de aluminio que contiene  $^{99}\text{Mo}$  se lava con una solución salina. El  $^{99}\text{Mo}$  se adhiere al óxido, mientras que el  $^{99m}\text{Tc}$  se separa gracias a la solución. Esto produce una solución de  $^{99m}\text{Tc}$  que luego se utiliza para obtener diferentes radiofármacos listos para ser inyectados en el cuerpo de un paciente. Una vez dentro del cuerpo, las pequeñas cantidades de radiación que libera el  $^{99m}\text{Tc}$  al desintegrarse son detectadas por una cámara especial externa al cuerpo del paciente que crea imágenes médicas para el diagnóstico de enfermedades.

## Períodos de semidesintegración breves, producción constante

Dado que el  $^{99m}\text{Tc}$  tiene un período de desintegración de seis horas, debe utilizarse rápidamente tras su extracción para que no pierda eficacia. Teniendo en cuenta que el ciclo vida del  $^{99}\text{Mo}$  es breve y que el del  $^{99m}\text{Tc}$  lo es aún más, es necesario producirlos constantemente para satisfacer la demanda mundial.

Uno de los principales productores a nivel mundial de  $^{99}\text{Mo}$  y otros radioisótopos es la Instalación de Investigación Atómica Fundamental de Sudáfrica (SAFARI-1), que forma parte de South African Nuclear Energy Corporation (Necsa) y es el principal reactor de investigación que produce radioisótopos de uso médico en el continente africano. En colaboración con el suministrador de radioisótopos, NTP Radioisotopes SOC Ltd —una sucursal de Necsa—, el reactor SAFARI-1 se ha convertido en uno de los 5 suministradores más importantes de  $^{99}\text{Mo}$  a nivel mundial y forma parte de la cadena de suministro de radioisótopos de uso médico para más de 50 países en todo el mundo. En la actualidad satisface alrededor del 20 % de la demanda mundial de  $^{99}\text{Mo}$ , y el  $^{99m}\text{Tc}$  derivado de los generadores que utilizan el  $^{99}\text{Mo}$  de SAFARI-1 se emplea en más de 40 hospitales y otros centros de salud de África.

“Para llegar a ser un actor global en la comunidad radioquímica y radiofarmacéutica ha sido necesario implementar sistemas de gestión, programas de mantenimiento y de capacitación del personal y planes estratégicos de manera bien estructurada y controlada”, señala Koos du Bruyn, Directivo Superior de SAFARI-1. De esta forma también se ha fomentado el uso secundario del reactor con fines de investigación, educativos e industriales.

Con el apoyo del OIEA, se ha procedido al desarrollo continuo y la mejora de SAFARI-1 desde que comenzó a funcionar en 1965, lo cual incluyó su conversión en 2009 para usar combustible de uranio poco enriquecido en lugar de uranio muy enriquecido (se puede encontrar más información sobre este tipo de conversión en la página 26) y su transición, finalizada en 2017, para que los blancos fueran también de uranio poco enriquecido. Estas actividades han contribuido a garantizar un mejor empleo del reactor y su transición exitosa a un uso más comercial.

“En la década de 1990, cambiamos nuestro enfoque operativo e hicimos más hincapié en el mantenimiento y la gestión, lo que incluyó la creación de un grupo de personal especializado altamente cualificado en diversas esferas. Gracias a eso, pasamos de ser un reactor poco usado a una instalación de uso muy elevado y más sostenible”, afirma el Sr. du Bruyn. En los 9 años comprendidos entre 1995 y 2004, el reactor se usó



**Placa de blanco de molibdeno 99 y el soporte utilizado para irradiar las placas en un reactor de investigación.**

(Fotografía: Necsa)

más que en los 3 decenios anteriores. Tan solo siete años más tarde se logró el mismo resultado. A fecha de 2019, el uso de SAFARI-1 casi se ha cuadruplicado desde 1995.

En los últimos 15 años, SAFARI-1 ha funcionado ininterrumpidamente, casi sin pausa durante alrededor de 300 días al año, y se prevé que siga suministrando  $^{99}\text{Mo}$  al menos hasta 2030. Sin embargo, dado que el reactor está envejeciendo, se está considerando la posibilidad de sustituirlo por un nuevo reactor multipropósito con una potencia de 15 a 30 MW (t). El proceso llevará hasta diez años desde el inicio de los estudios de viabilidad hasta su finalización.

“Si se construye un nuevo reactor multipropósito, se equipará de forma que funcione con flexibilidad durante los próximos 60 años o más para que podamos adaptarnos a posibles cambios, como fluctuaciones en los mercados de radioisótopos de uso médico y requisitos de investigación, así como para proporcionar a Sudáfrica y a la región una instalación crítica de fabricación y suministro de combustible nuclear y para la realización de ensayos de materiales”, indica el Sr. du Bruyn.

# Creación de competencias y conocimientos mediante los reactores de investigación

Nicole Jawerth



Los estudiantes pueden realizar a distancia experimentos de laboratorio en tiempo real conectándose a un aula en el reactor de investigación RA-6 en la Argentina.

(Fotografía: P. Cantero/CNEA)

Los reactores de investigación son un recurso importante para la capacitación de profesionales del sector nuclear en todo el mundo, pero solo alrededor de una cuarta parte de los países tienen reactores propios de ese tipo.

“El hecho de que un país no tenga un reactor de investigación no tiene por qué limitar las opciones de enseñanza y capacitación de sus profesionales del sector nuclear. Hoy en día existen muchas posibilidades”, dice Christophe Xerri, Director de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Tecnología de los Desechos del OIEA.

Para ayudar a garantizar que los estudiantes y los profesionales del ámbito nuclear reciban la enseñanza y capacitación que necesitan, independientemente de que su país tenga o no un reactor de investigación, el OIEA apoya la organización de cursos internacionales de capacitación, tanto sobre el terreno como a distancia, y facilita la colaboración entre los países para aumentar el acceso a este tipo de reactores.

Un reactor de investigación es un reactor nuclear que, en lugar de generar electricidad, se emplea fundamentalmente para producir neutrones. Aunque estos reactores se usan principalmente en la investigación y en otras aplicaciones, también desempeñan un importante papel en la enseñanza y la capacitación de los jóvenes profesionales y los profesionales ya consolidados que trabajan en instalaciones nucleares, así como en las esferas de la protección radiológica y reglamentación nuclear.

“Los reactores de investigación ofrecen una forma práctica de comprender con mayor profundidad los principios básicos del funcionamiento de un reactor y, gracias a su diseño, pueden utilizarse para simular de manera segura distintos tipos de condiciones del reactor, lo cual es imposible con un reactor nuclear de potencia”, explica David Sears, funcionario superior de seguridad del OIEA.

## Conexión en línea

Para los estudiantes de física e ingeniería nuclear, los experimentos con un reactor de investigación son un instrumento de aprendizaje esencial. Sin embargo, no siempre se puede estar físicamente presente en un reactor de investigación, sobre todo cuando el país del estudiante carece de este tipo de reactores. Alternativas como el Reactor Laboratorio por Internet (IRL) del OIEA están ayudando a resolver esta situación. Establecido en 2015, el IRL ofrece un componente rentable y práctico para la capacitación de estudiantes y profesionales, conectando por Internet las aulas de cualquier lugar del mundo con las aulas asociadas a reactores de investigación en funcionamiento. De esa forma, los participantes pueden realizar experimentos sobre física de reactores en tiempo real y aprender más sobre sus operaciones.

“Cuando participé en el IRL en 2018, ya sabía mucho sobre los reactores, pero nunca había visto uno”, comenta José David Cremé Angel Bello, actualmente profesor e investigador del Departamento de Física Atómica y Molecular del Instituto Superior de Tecnologías y Ciencias Aplicadas de Cuba. “El proyecto IRL fue una experiencia increíble para mi capacitación como ingeniero nuclear porque en Cuba no tenemos ningún reactor de investigación, así que esto me permitió ver y poner en práctica mis conocimientos teóricos, interactuar con un reactor nuclear en tiempo real y llevar a cabo experimentos. Me ayudó a prepararme para mi carrera profesional”.

El Sr. Cremé era estudiante de ingeniería nuclear cuando se benefició del proyecto IRL establecido mediante un acuerdo entre el OIEA y la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA) de la Argentina. El acuerdo se firmó en 2013 y sentó

las bases para el proyecto IRL en América Latina, que fue uno de los primeros, además del proyecto con Francia. Si bien el proyecto IRL con Francia concluyó con la parada definitiva del reactor anfitrión, desde entonces este tipo de proyectos se han extendido a África, Asia y el Pacífico y Europa, con reactores anfitriones en la República Checa, la República de Corea y Marruecos, y se están considerando nuevos reactores anfitriones en otras partes de Europa y Asia Sudoriental.

### Capacitación sobre el terreno

Si bien el IRL posibilita el acceso remoto a la enseñanza con reactores de investigación, los cursos de capacitación presenciales sobre el terreno que organiza el OIEA siguen siendo una vía importante para crear competencias, conocimientos y redes. El OIEA lleva decenios apoyando y coordinando la capacitación de cientos de estudiantes, jóvenes profesionales y especialistas consolidados. Estos cursos abarcan temas como la explotación y el mantenimiento, las inspecciones reglamentarias de seguridad, la seguridad física nuclear y la protección física, y los usos para aplicaciones específicas, como la producción de radioisótopos de uso médico y el ensayo de materiales para la industria.

“Visitar un reactor de investigación, realizar algunos experimentos y ver qué se siente al operarlo es una experiencia invaluable”, dice Luka Snoj, físico de reactores del Instituto Jozef Stefan de Eslovenia, que también participa en un curso de capacitación en grupo de becarios llamado Iniciativa sobre Reactores de Investigación de Europa Oriental (EERRI). Esta iniciativa consiste en un curso de seis semanas para jóvenes profesionales centrado en todos los aspectos de los reactores de investigación.

“Muchos participantes de los cursos de la EERRI aprovechan la experiencia y los contactos que obtienen de estas actividades para regresar a sus países y convertirse en exitosos científicos e ingenieros. En algunos casos, llegan a ser los principales expertos nucleares de sus países”, manifiesta el Sr. Snoj. “Para nosotros, en nuestro papel de anfitrión, la EERRI ha sido una forma importante de dar mayor visibilidad internacional a nuestro reactor y nos ha permitido establecer contactos sobre el terreno para colaboraciones a largo plazo, visitas científicas y capacitaciones”. La EERRI es una de las muchas actividades que apoya el OIEA, entre las que se encuentran cursos regionales y sobre reactores de investigación en África, Asia y el Pacífico y América Latina.

En 2014 el Organismo puso en marcha la iniciativa del Centro Internacional basado en Reactores de Investigación designado por el OIEA (ICERR) con el objetivo de brindar capacitación más avanzada y facilitar un mayor acceso a los reactores de investigación para la labor científica. Como parte de este sistema, los principales centros de investigación de todo el mundo se ofrecen como voluntarios para brindar oportunidades de cooperación internacional. Para que un país pueda acceder a un ICERR, debe afiliarse firmando un acuerdo bilateral con este. El OIEA facilita este proceso, por ejemplo, intercambiando información sobre las capacidades que ofrecen los ICERR.

“El sistema del ICERR desempeña un importante papel no solo para capacitar a los operadores, sino también para facilitar el acceso a los reactores de investigación que mejor se adaptan a tipos concretos de experimentos”, afirma el Sr. Xerri. Hay ICERR en Bélgica, Francia, la República de Corea y Rusia, y dos en los EE. UU.

### Más información en línea

Los cursos de aprendizaje electrónico desarrollados por el OIEA son recursos útiles que complementan la enseñanza y capacitación sobre los reactores de investigación. Los cursos disponibles cubren temas como los siguientes:

- Curso introductorio de capacitación para personal de reactores de investigación
- Análisis por activación neutrónica (en inglés)
- Técnicas analíticas nucleares en el ámbito de la criminalística (en inglés)
- Protección radiológica operacional y gestión de desechos (en inglés)
- Programas de inspección reglamentaria (en inglés)
- Seguridad de los reactores de investigación (en inglés)
- Planificación estratégica para las instituciones nucleares nacionales (en inglés)

# Seguridad de principio a fin

## Una visita a la instalación del reactor de investigación de Jordania

Aabha Dixit

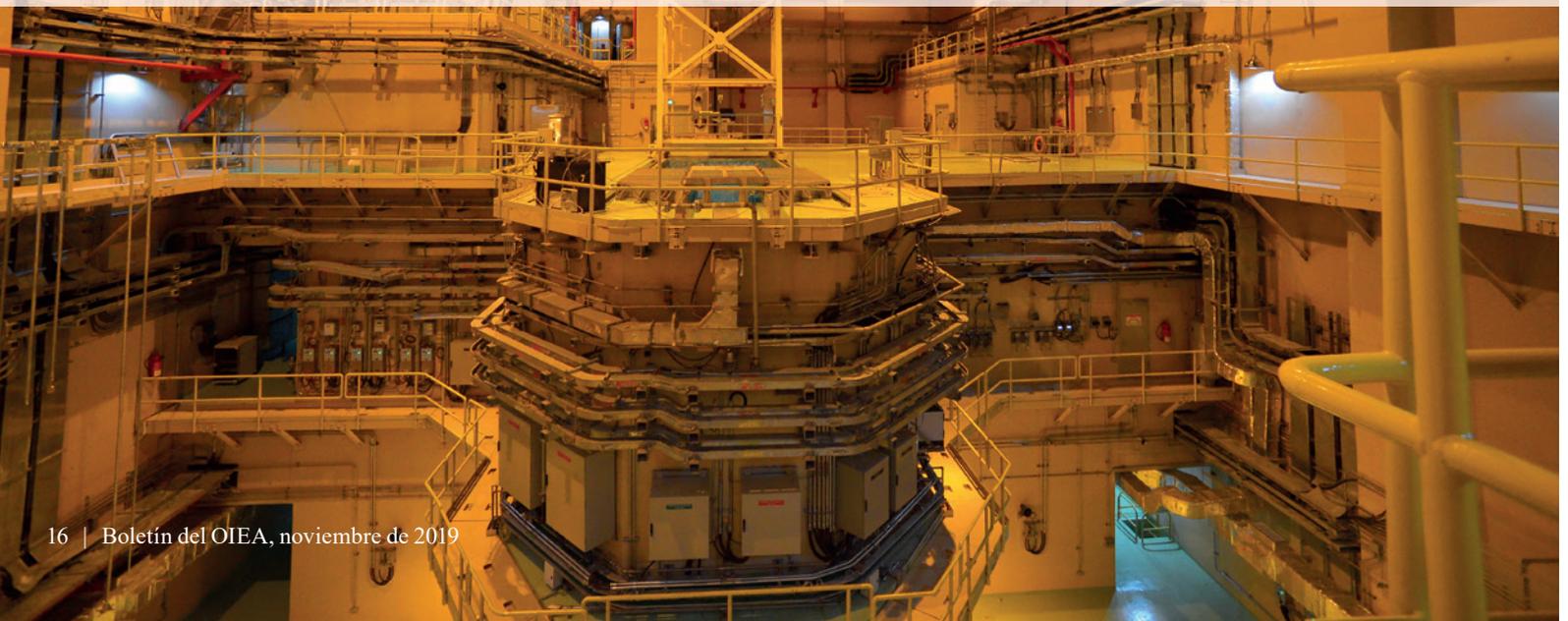


Un vistazo a la sala del reactor JRTR.

Una vez construido en el campus de la Universidad de Ciencia y Tecnología de Jordania, en Irbid (Jordania), el JRTR obtuvo su licencia de explotación en noviembre de 2017.

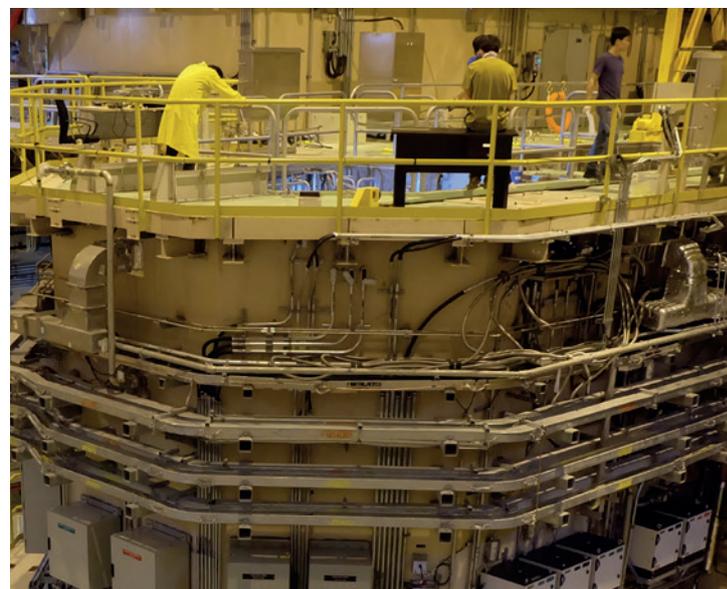
El JRTR recibió además la licencia de la Administración de Alimentos y Medicamentos de Jordania para distribuir su línea de productos de yodo 131, que comprende varias dosis del isótopo en forma de líquido y de cápsula. El yodo 131 es un isótopo radiactivo del yodo que se utiliza con frecuencia en radiofármacos para el diagnóstico y el tratamiento de enfermedades, como el cáncer de tiroides. El JRTR suministra radiofármacos a 13 centros médicos de Jordania, y su clientela sigue creciendo.

Está previsto aumentar el número de productos radiofarmacéuticos del JRTR y prestar otros servicios de irradiación, como la producción de silicio con unas especificaciones adecuadas para la industria electrónica.

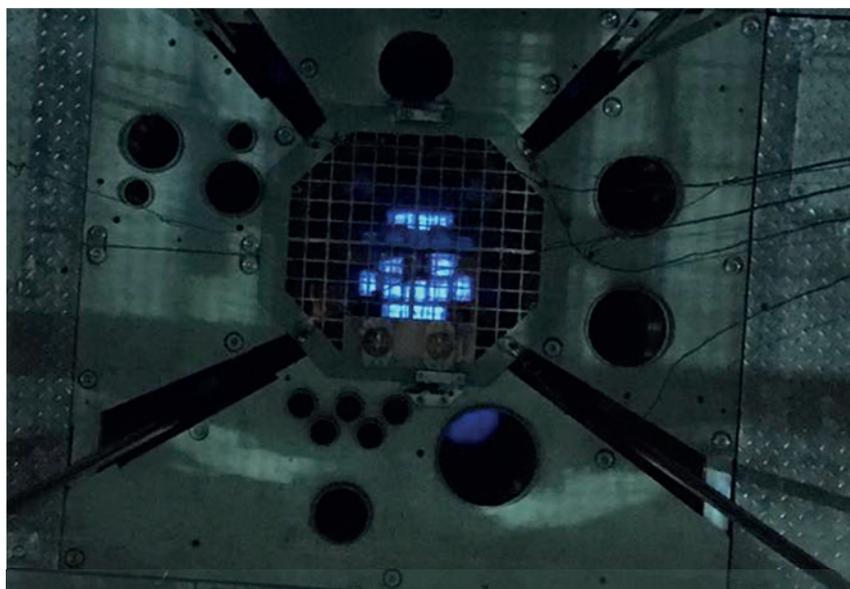


Los reactores de investigación suelen utilizarse para fines que van más allá de la investigación, como la enseñanza y la capacitación, el ensayo de materiales y la producción de radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales. Al igual que los reactores nucleares de potencia, los reactores de investigación deben cumplir las normas más estrictas de seguridad durante todas las fases de un proyecto, desde el diseño y la puesta en servicio hasta la explotación y el mantenimiento.

Visite el proyecto de reactor de investigación y capacitación de Jordania (JRTR) para conocer más detalles sobre la utilización del reactor de investigación y cómo se aplican medidas de seguridad en cada fase del proyecto. El JRTR es un reactor de 5 megavatios (MW) que puede ampliarse hasta los 10 MW, lo que ofrece a Jordania la opción de aumentar las capacidades de su reactor de investigación en el futuro.

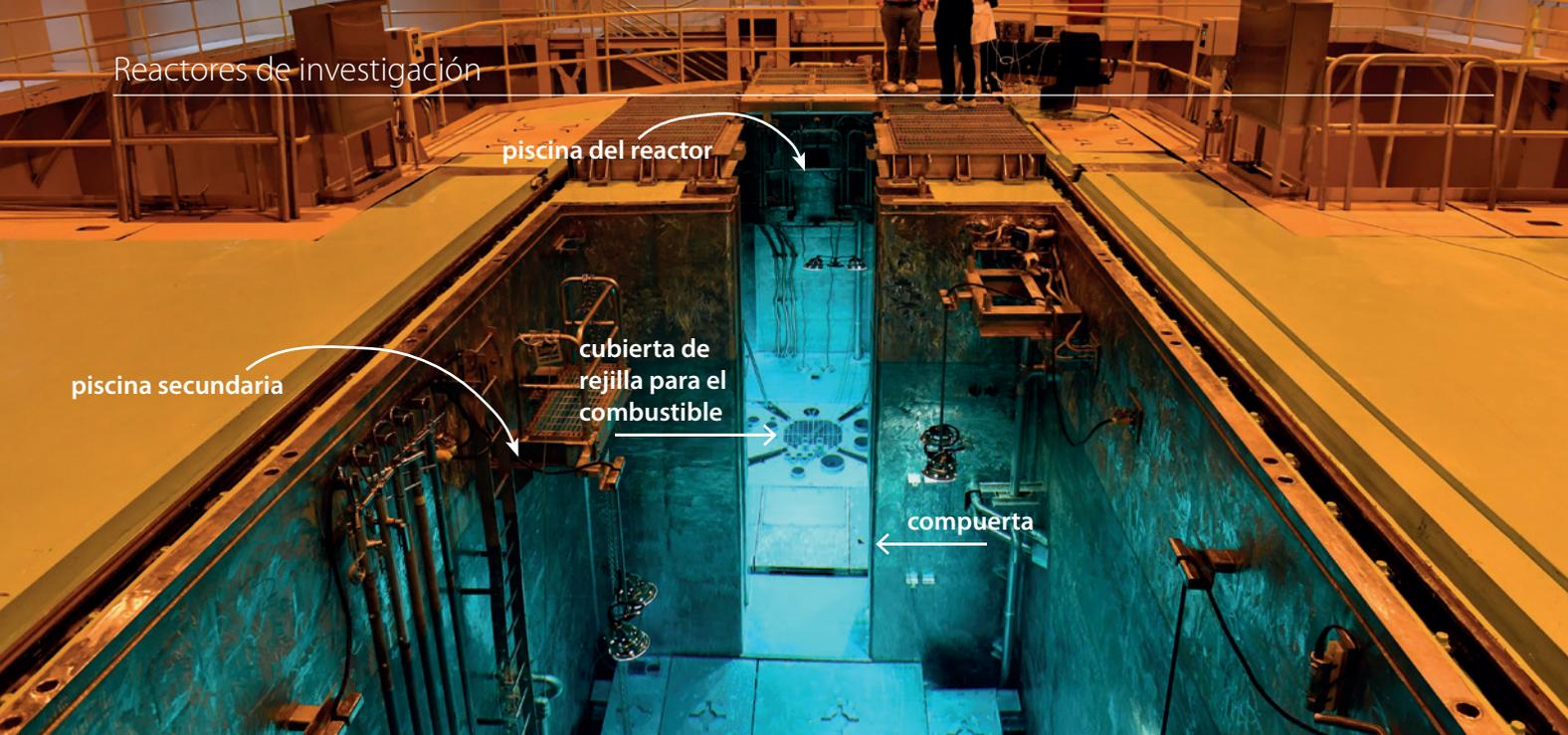


Los puertos de los haces de neutrones del JRTR se utilizarán para realizar experimentos y los agujeros de irradiación del interior del tanque servirán para producir radioisótopos con fines médicos e industriales, así como para otras actividades de investigación.



La brillante luz azulada que se observa en la piscina del reactor se debe a las partículas de electrones emitidas por el combustible y que interactúan con el agua. Esta penetrante luz azul se conoce como efecto Cherenkov. Conforme aumenta el nivel de potencia del reactor, este resplandor azul gana en intensidad.

Las aberturas redondeadas que rodean la rejilla son los agujeros de irradiación —situados en el interior del reflector de agua pesada—, que se utilizan para la producción de radioisótopos, el dopado por transmutación neutrónica y otros tipos de irradiación.



La piscina del reactor y la piscina secundaria contienen alrededor de 325 545 litros de agua (desmineralizada) de alta pureza. Juntas miden 3,7 metros de ancho y 10 metros de profundidad. La imagen muestra la piscina azul del reactor vista a través de la piscina secundaria. Se puede observar la rejilla situada sobre los conjuntos de combustibles —un grupo estructurado de placas de combustible que suministran combustible a los reactores—, que se utiliza para almacenar los conjuntos de combustibles en disposiciones específicas por motivos de seguridad nuclear. También puede verse la compuerta que separa la piscina del reactor de la piscina secundaria.

El agua actúa de blindaje frente a peligros radiológicos. El agua que se emplea en este tipo de reactores tiene un elevado nivel de pureza para preservar la integridad física de los conjuntos combustibles e impedir la liberación de material radiactivo. La compuerta entre ambas piscinas ayuda a facilitar las tareas de explotación y mantenimiento y permite manejar más fácilmente los componentes radiactivos. También separa las dos piscinas en caso de drenaje accidental del agua.

La instalación de última generación del JRTR alberga asimismo tres instalaciones de irradiación que se emplean en apoyo del análisis por activación neutrónica, el análisis forense y la investigación arqueológica.

Los “bancos de celdas calientes” son otra característica importante del JRTR. Permiten manejar material altamente radiactivo, como el que se utiliza en la producción de radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales. Las celdas calientes son cámaras especialmente diseñadas que protegen a los trabajadores mientras estos utilizan los brazos manipuladores para trabajar con materiales radiactivos.





A fin de contribuir a la capacitación de los trabajadores y de los ingenieros en tecnología nuclear del JRTR, el centro de capacitación de este reactor está equipado con un simulador plenamente operativo. Estos simuladores los ayudan a comprender los entresijos del funcionamiento del reactor de investigación y a familiarizarse con ellos, por ejemplo sobre posibles incidentes de seguridad, de modo que el personal esté bien preparado para hacer funcionar el reactor.



Un grupo de trabajadores supervisa los sistemas del JRTR desde la sala de control principal durante la fase inicial de ensayo operativo.

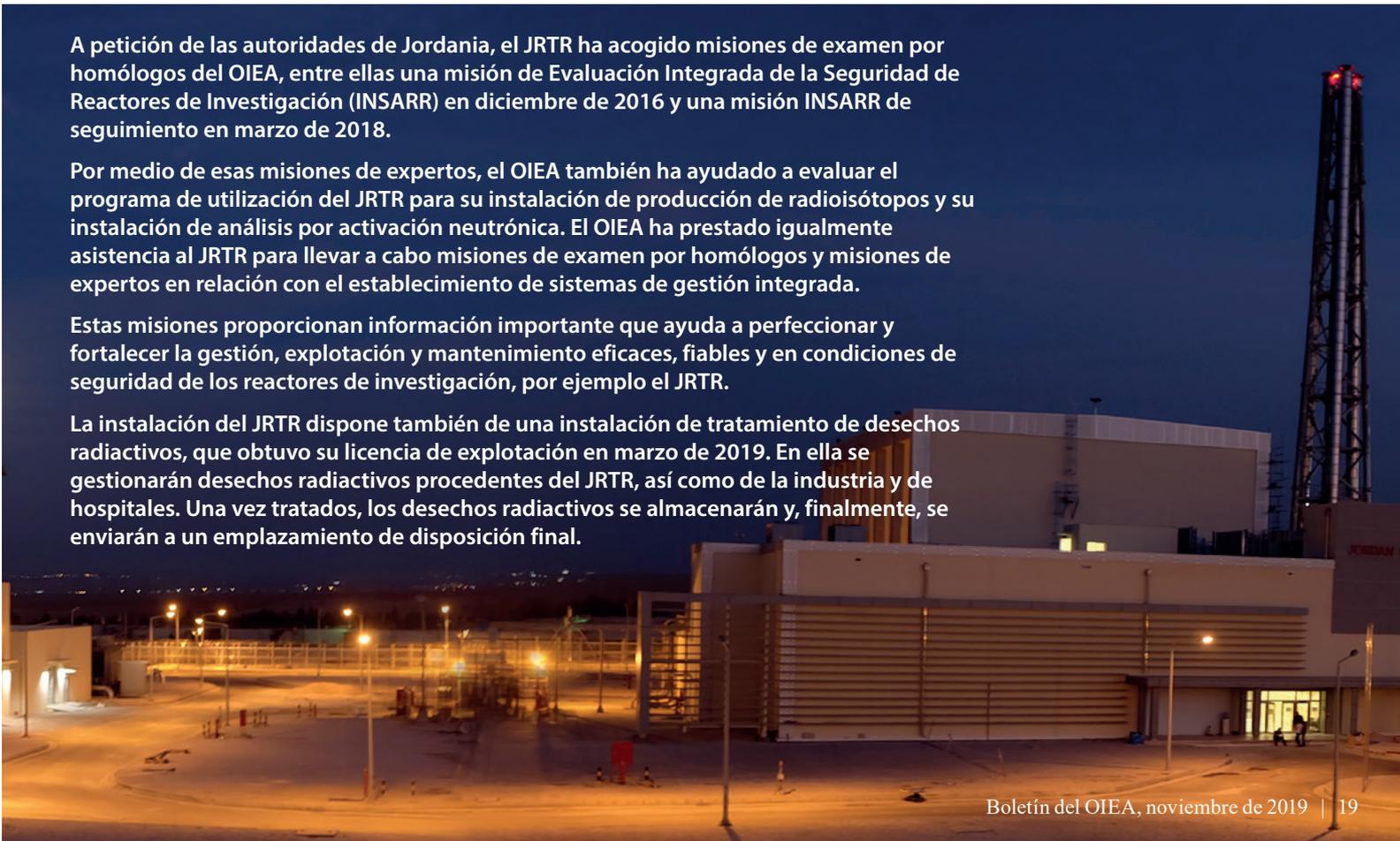
“La capacitación que el OIEA ofrece a nuestros ingenieros, científicos y personal de proyectos se ha adaptado para satisfacer nuestras necesidades, lo que nos ha ayudado a preparar a nuestro personal y a proporcionarles los conocimientos y las aptitudes que permitieron a Jordania explotar esta instalación moderna y versátil que incluye características de seguridad avanzadas”, explica Samer D. Kahook, Director del JRTR y Comisario de Investigación Nuclear de la Comisión de Energía Atómica de Jordania.

A petición de las autoridades de Jordania, el JRTR ha acogido misiones de examen por homólogos del OIEA, entre ellas una misión de Evaluación Integrada de la Seguridad de Reactores de Investigación (INSARR) en diciembre de 2016 y una misión INSARR de seguimiento en marzo de 2018.

Por medio de esas misiones de expertos, el OIEA también ha ayudado a evaluar el programa de utilización del JRTR para su instalación de producción de radioisótopos y su instalación de análisis por activación neutrónica. El OIEA ha prestado igualmente asistencia al JRTR para llevar a cabo misiones de examen por homólogos y misiones de expertos en relación con el establecimiento de sistemas de gestión integrada.

Estas misiones proporcionan información importante que ayuda a perfeccionar y fortalecer la gestión, explotación y mantenimiento eficaces, fiables y en condiciones de seguridad de los reactores de investigación, por ejemplo el JRTR.

La instalación del JRTR dispone también de una instalación de tratamiento de desechos radiactivos, que obtuvo su licencia de explotación en marzo de 2019. En ella se gestionarán desechos radiactivos procedentes del JRTR, así como de la industria y de hospitales. Una vez tratados, los desechos radiactivos se almacenarán y, finalmente, se enviarán a un emplazamiento de disposición final.



# El aprovechamiento estratégico de los reactores de investigación

Aleksandra Peeva

Los reactores de investigación tienen el poder de influir en la ciencia, la educación, la industria y la medicina, pero para aprovechar todas sus posibilidades, hace falta una planificación estratégica. De los 224 reactores de investigación actualmente en funcionamiento en 53 países, algunos se aprovechan plenamente, pero otros están infrautilizados.

“Muchos reactores de investigación se construyeron para hacer frente a una necesidad inmediata en su momento. Hoy, muchos años más tarde, hay que revisar su declaración de objetivos”, explica Nuno Pessoa Barradas, especialista en reactores de investigación del OIEA.

Muchos de los reactores de investigación actualmente en funcionamiento se construyeron en los decenios de 1950 y 1960, cuando eran un instrumento novedoso y muchos países estaban interesados en explorar y descubrir sus posibilidades. Ahora que estas posibilidades se conocen mejor y se están diseñando nuevas aplicaciones, se reconoce en general que algunos reactores de investigación se podrían utilizar mejor para sacarles el máximo partido.

Muchos países están colaborando actualmente de forma activa para maximizar el uso de los reactores de investigación existentes y algunos ya han construido, o prevén construir, nuevos reactores de investigación con planes para utilizarlos al máximo. El objetivo es aprovechar plenamente los beneficios de estos potentes instrumentos para muchos fines, por

ejemplo, para formular programas nucleoelectrónicos, realizar actividades de investigación y desarrollo, prestar servicios de análisis e irradiación y producir radioisótopos para su uso en la medicina y en la industria.

Durante los últimos 5 años, expertos y funcionarios de más de 40 países han recibido apoyo del OIEA para determinar prioridades y mejorar los planes operativos de más de 50 reactores de investigación. Por lo general, estos planes comprenden la evaluación de la necesidad en el país y la región de los posibles servicios y productos del reactor de investigación, la priorización de estas necesidades y su adecuación a las capacidades del reactor, así como la fijación de objetivos para el funcionamiento sostenible a largo plazo de un reactor.

## Mejora del uso sostenible

A principios de 2019 el OIEA inició una misión de examen por expertos en Italia, donde un grupo de expertos internacionales examinó el reactor de investigación TRIGA Mark II de 250 kW de la Universidad de Pavía. La misión se centró en mejorar el uso sostenible del reactor de investigación.

El grupo evaluó el plan estratégico y el plan de acción correspondiente del reactor de la universidad, así como su nivel de utilización. Para ello, se tomaron como base indicadores clave de ejecución y las oportunidades y los obstáculos que podrían seguir limitando el desarrollo de

## Núcleo del reactor de investigación TRIGA Mark II de la Universidad de Pavía.

(Fotografía: N. Pessoa Barradas/OIEA)



los servicios y productos del reactor, así como esferas de mejora para la utilización eficaz, eficiente y sostenible de la instalación.

Los expertos concluyeron que el reactor de investigación es una instalación bien utilizada que desempeña una función importante en el desarrollo socioeconómico del país, así como en la medicina, la arqueología y las ciencias de los materiales, entre otras esferas. Formularon además recomendaciones y sugerencias para seguir mejorando la utilización de la instalación, entre otras cosas, observaciones sobre el plan estratégico de la instalación, así como la elaboración de actividades de divulgación y comunicación y la ampliación de las actividades educativas.

“La utilización y la planificación estratégica son esferas especialmente importantes para nosotros y para nuestras partes interesadas”, afirma Andrea Salvini, Director del reactor de investigación de la Universidad de Pavía. “La misión del OIEA nos ayudó a centrarnos en la labor de afianzar nuestra comunidad de usuarios y mejorar nuestra capacidad científica en nuevos ámbitos”.

Se prevé que la experiencia adquirida de la misión en Pavía ayude al OIEA a dar una respuesta aún mejor a las solicitudes de ayuda de los países para mejorar el uso de los reactores de investigación, en particular mediante un nuevo servicio denominado Examen Integrado de la Utilización de Reactores de Investigación (IRRUR).

“La misión ofreció valiosas ideas y podría reproducirse para ayudar a los países a formular estrategias nacionales eficientes para la utilización eficaz y la explotación sostenible de los reactores de investigación. Esto se aplica en particular a organizaciones que quizá carecen de la capacidad necesaria para realizar una evaluación integrada”, explica el Sr. Pessoa Barradas.

Las misiones de examen son uno de los varios tipos de ayuda que el OIEA ofrece a los países para mejorar el uso sostenible de sus reactores de investigación. A principios de 2019 el OIEA también puso en marcha un curso de aprendizaje electrónico con orientaciones sobre cómo realizar la planificación estratégica para una utilización eficiente y sostenible de diferentes instalaciones explotadas por instituciones nucleares nacionales, incluidos los reactores de investigación. El curso se basa en una publicación de 2017 del OIEA sobre la planificación estratégica de los reactores de investigación titulada *Strategic Planning for Research Reactors*. A esto se añaden cursos de capacitación, visitas de expertos y becarios, y talleres sobre las aplicaciones de los reactores de investigación que cuentan con el apoyo del OIEA, así como reuniones técnicas y publicaciones. A muchos de estos recursos puede accederse a través del centro de información sobre reactores de investigación, alojado en la plataforma IAEA CONNECT.

# Mejora de la seguridad tecnológica, la seguridad física y la fiabilidad

## Las misiones de examen por homólogos del OIEA para los reactores de investigación

Elisa Mattar

Establecer y llevar a cabo el mantenimiento de un reactor de investigación es un proceso complejo, que abarca desde la selección del emplazamiento y el diseño hasta la puesta en servicio, la explotación y la protección de los materiales nucleares. En cada una de las fases de este proceso, los países pueden solicitar un servicio de examen por homólogos del OIEA a fin de mejorar la seguridad nuclear tecnológica y física, así como el desempeño de los reactores de investigación.

“El objetivo de las misiones de examen por homólogos es garantizar que los reactores de investigación se sigan utilizando de forma eficaz y sostenible en beneficio de la sociedad”, explica Amgad Shokr, Jefe de la Sección de Seguridad de los Reactores de Investigación del OIEA.

En las misiones de examen por homólogos del OIEA, que se realizan previa solicitud, participan grupos multidisciplinarios de expertos internacionales que comparan las prácticas reales con las normas de seguridad nuclear del OIEA y las buenas prácticas internacionales, así como con las orientaciones del OIEA en materia de seguridad física y explotación.

Las misiones determinan esferas susceptibles de mejora y proporcionan a las instalaciones anfitrionas recomendaciones al respecto. Si se solicitan, las misiones de seguimiento suelen realizarse entre 12 y 18 meses más tarde para examinar las medidas adoptadas por las instalaciones anfitrionas en respuesta a las conclusiones de la misión inicial. A través de estas visitas de seguimiento, el OIEA también puede ayudar, previa solicitud y según sea necesario, a abordar las conclusiones.

El OIEA presta asimismo apoyo a los países en la tarea de aplicar las recomendaciones de la misión así como, cuando corresponda, por conducto de sus proyectos de cooperación técnica.

Los servicios de examen por homólogos del OIEA que se centran específicamente en los reactores de investigación son la Evaluación Integrada de la Seguridad de Reactores de Investigación (INSARR) y la Evaluación de la Explotación y el Mantenimiento de Reactores de Investigación (OMARR), mientras que el Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS), más amplio, también se ocupa de los reactores de investigación.

### **INSARR: seguridad durante toda la vida del reactor**

Las misiones INSARR examinan la seguridad nuclear en todas las fases de la vida de un reactor de investigación, es decir, el diseño y la selección del emplazamiento, la puesta en servicio y la explotación. Las esferas que se someten a examen incluyen la organización y la gestión, los programas de capacitación, el análisis de la seguridad, los límites y las condiciones operacionales, los procedimientos operacionales, el mantenimiento, la protección radiológica, las modificaciones, los experimentos y la planificación para casos de emergencia. Los explotadores de la instalación anfitriona pueden solicitar una misión completa o un examen centrado en esferas de interés específicas.

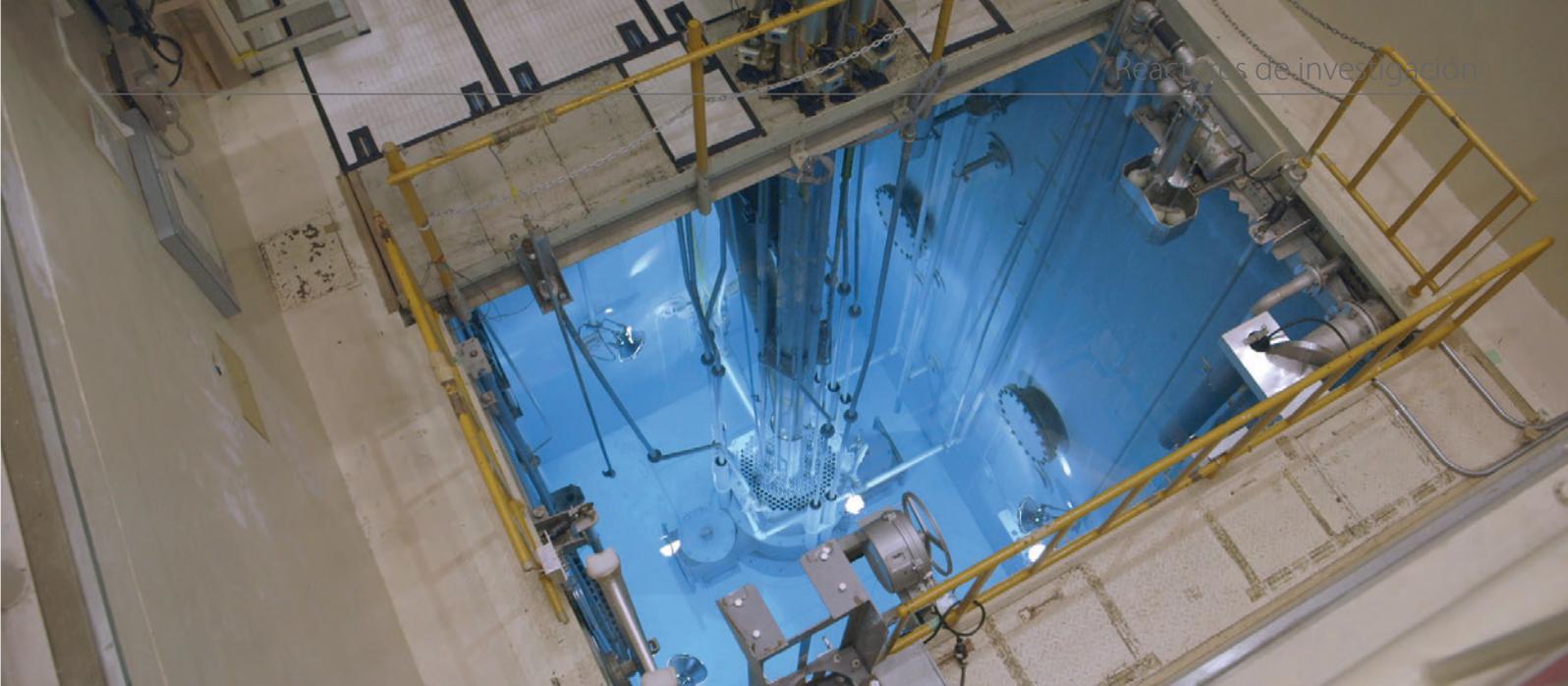
En 2017 se llevó a cabo en Jamaica una misión INSARR en el único reactor de investigación del país, un reactor del tipo JM-1. “La misión INSARR realizada en 2017 nos ayudó a trazar el camino a seguir para explotar la instalación en condiciones de seguridad durante los próximos 10 años”, dice Charles Grant, Director General del Centro Internacional de Ciencias Ambientales y Nucleares (ICENS) de Jamaica.

Desde que el OIEA puso en marcha el servicio INSARR en 1997, se han llevado a cabo más de 90 misiones INSARR en reactores de investigación de 45 países de todo el mundo.

“Del análisis de los exámenes INSARR realizados desde 2005 se desprende que, cuando se realizan las visitas de seguimiento, más del 75 % de las conclusiones se han resuelto o se han realizado avances satisfactorios al respecto”, explica el Sr. Shokr. “Estos resultados indican que se han introducido mejoras significativas en la seguridad de muchos reactores de investigación de todo el mundo y que, para los anfitriones, nuestro servicio es útil”.

### **OMARR: un funcionamiento fiable y eficiente**

Las misiones de examen OMARR se centran en los aspectos operacionales y de mantenimiento que tienen que abordarse a lo largo de la vida de un reactor de investigación, incluido cuando se inicia un proyecto de nuevo reactor de investigación o se alcanza un hito determinado (encontrará más información sobre el enfoque de los hitos en la página 6). Estas misiones determinan esferas susceptibles de mejora, abordan desafíos operacionales específicos y crean una plataforma para el intercambio de experiencias y de buenas prácticas entre los expertos internacionales y el personal local.



### Vista cenital de la piscina de un reactor de investigación.

(Fotografía: OIEA)

“Alrededor del 50 % de los reactores de investigación en funcionamiento en todo el mundo tienen más de 40 años”, explica Ram Sharma, ingeniero nuclear de la Sección de Reactores de Investigación del OIEA. “Se enfrentan a una serie de problemas, entre ellos los relacionados con el envejecimiento. Las misiones OMARR ayudan a las instalaciones de reactores de investigación a optimizar la utilización de todos los recursos financieros y humanos durante el ciclo de vida operacional de las instalaciones”.

Sobre la base de las normas del OIEA y de las normas internacionales, así como de los informes técnicos conexos, las misiones OMARR ofrecen recomendaciones y sugerencias relativas a las operaciones y el mantenimiento, la gestión del envejecimiento, los recursos humanos, la garantía de la calidad, los sistemas de gestión, la gestión de activos y de la configuración de la central y las modificaciones de las centrales. Los resultados previstos incluyen un funcionamiento más eficiente a largo plazo, un mejor desempeño, la mejora de la seguridad y de la cultura de la seguridad y un uso optimizado de los recursos humanos y financieros.

Al aplicar las recomendaciones de una misión OMARR o planificar la explotación a largo plazo, los países también pueden solicitar una misión OMARR de seguimiento a fin de dar respuesta a cuestiones pendientes relacionadas con los reactores de investigación.

En 2019 se llevó a cabo una misión OMARR en Indonesia que ayudó al país a planificar la explotación futura de su reactor de investigación. “La misión OMARR fue muy útil para el plan de explotación a largo plazo de nuestro reactor, y resultó oportuna, pues prestó apoyo a las actividades en curso”, comparte Anhar Riza Antariksawan, Presidente de la Agencia Nacional de Energía Nuclear (BATAN) de Indonesia. “Fue especialmente importante para ayudarnos a reanudar el funcionamiento de nuestro reactor a plena potencia utilizando combustible para TRIGA no irradiado, en cuanto esté disponible, así como para determinar qué modificaciones

serían necesarias si tuviéramos que convertirlo para que utilice combustible de tipo placa autóctono en su lugar”.

### IPPAS: seguridad y protección

Mientras que las misiones INSARR y OMARR se centran fundamentalmente en las instalaciones, las misiones de examen IPASS se llevan a cabo a nivel nacional y se ocupan de la protección física del material nuclear y otro material radiactivo. El grupo de examen compara las medidas nacionales de seguridad física nuclear aplicadas con las publicaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA*, la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares y otros instrumentos jurídicos internacionales.

“Una misión IPPAS es un paso importante para que un país pueda abordar cualquier aspecto susceptible de mejora en relación con la seguridad física nuclear de una instalación o a nivel nacional”, afirma Kristof Horvath, oficial superior de seguridad física nuclear del OIEA. “Suponen una verdadera oportunidad para aprender, sin necesidad de llevar a cabo inspecciones u otras medidas invasivas”.

Las misiones IPPAS, que se realizan en colaboración con las autoridades del país —la policía, el servicio de aduanas y los reguladores—, también se ocupan del transporte de material nuclear y de situaciones de contingencia, así como de la legislación y los reglamentos nacionales, la concesión de licencias y la respuesta a actos de robo o de sabotaje, e incluso de la seguridad informática.

Hungría acogió en 2013 una misión IPPAS después de que el país estableciera un nuevo régimen de seguridad física nuclear, así como una misión de seguimiento en 2017. “La misión de 2013 permitió implantar mejoras significativas, especialmente en el marco jurídico y en materia de seguridad informática y de seguridad física durante el transporte”, afirma Zsolt Stefanka, Jefe Interino del Departamento de Fuentes de Radiación, Salvaguardias y Seguridad Física en la Autoridad de Energía Atómica de Hungría.

# En busca de la solución adecuada

## El encaje de la seguridad física nuclear en los reactores de investigación

Inna Pletukhina

Si bien los reactores de investigación reportan múltiples beneficios a la sociedad, solo pueden cumplir su cometido si el material nuclear está adecuadamente protegido y no cae en manos de terroristas. En la actualidad, los países protegen su material nuclear de distintas formas, por ejemplo colaborando con el OIEA para incorporar sistemas y medidas de seguridad física nuclear a sus diseños de reactores de investigación.

No obstante, la integración no siempre ha sido la solución elegida.

“Hace más de 30 años, cuando se construyeron la mayoría de reactores de investigación, se diseñaron para la enseñanza, la industria y la investigación, teniendo en cuenta las normas de

seguridad pero sin incluir unas especificaciones de seguridad física exhaustivas”, explica Juan Carlos Lentijo, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física del OIEA. “Hace ya mucho tiempo que la seguridad física del material y las instalaciones nucleares se ha convertido en un motivo de preocupación clave y, actualmente, la mayoría de reactores de investigación que se construyeron en aquella época han sufrido modificaciones para tener esto en cuenta”.

Cumplir los objetivos en materia de seguridad física nuclear —prevenir, detectar y responder a actos delictivos o actos no autorizados intencionados relacionados con material nuclear u otro material radiactivo— es complicado dadas las características específicas y la gran diversidad de tipos

**Las medidas de protección física ayudan a garantizar la seguridad física nuclear de los reactores de investigación.**

(Fotografía: D. Calma/OIEA)



de reactores de investigación e instalaciones conexas. Los reactores de investigación más antiguos presentan complicaciones adicionales por las vulnerabilidades inherentes a la instalación que son el resultado de cambios en los entornos de la amenaza, de unas medidas y un equipo de seguridad física inapropiados y de lo atractivos que son los materiales nucleares y otros materiales radiactivos para su retirada no autorizada y para cometer actos de sabotaje.

Originalmente, el diseño de una instalación de reactor de investigación podía incluir edificios que permitían la máxima accesibilidad y requerían unas medidas de protección física mínimas. Por ejemplo, los reactores de investigación basados en un diseño del tipo piscina abierta permiten acceder fácilmente al material nuclear que se encuentra en el núcleo del reactor. Si bien este diseño es eficiente para actividades con fines educativos, podría entrañar un riesgo para la seguridad física.

Aunque cada reactor de investigación tiene sus propios requisitos de seguridad física nuclear, existen algunos desafíos comunes, como los grandes grupos de personas que acceden a un reactor de investigación para recibir formación práctica. A diferencia de las centrales nucleares, de cuyo funcionamiento se encarga un personal que apenas varía durante años, los reactores de investigación suelen utilizarlos estudiantes e investigadores que realizan proyectos a corto plazo y que se marchan una vez han terminado su trabajo. Esto exige dotarse de unas medidas de seguridad física nuclear que permitan continuar las actividades de enseñanza e investigación sin retrasos en el acceso, manteniendo al mismo tiempo un alto nivel de protección.

Dada la variedad de materiales utilizados, niveles de potencia, productos de fisión, configuraciones, arreglos de financiación y dotación de personal en un reactor de investigación, no es posible normalizar los sistemas y las medidas de seguridad física nuclear, sostiene Doug Shull, funcionario superior de seguridad física nuclear del OIEA.

“En el caso de los reactores de investigación, no existe un enfoque único en términos de protección, sino que hay que evaluar la situación y aplicar un enfoque u otro en función de cada caso”, explica el Sr. Shull. “Cada reactor tiene un diseño y unas características únicas que obligan a diseñar sistemas de protección física que permitan cumplir la misión de la instalación, garantizando al mismo tiempo que las medidas de protección sean eficaces durante un suceso relacionado con la seguridad física”.

Aunque la responsabilidad de la seguridad física nuclear en su propio territorio recae en cada país, muchos recurren al asesoramiento que ofrece el OIEA acerca del nivel de los sistemas de seguridad física nuclear y las medidas de protección disponibles, así como a su asistencia con las mejoras de la protección física, las amenazas internas y los programas de cultura de la seguridad física nuclear.

## Planes integrados de apoyo a la seguridad física

Para muchos países, una parte importante de las medidas encaminadas a incorporar la seguridad física nuclear a los reactores de investigación se enmarca en los planes integrados de apoyo a la seguridad física nuclear (INSSP). Estos planes hechos a medida ayudan a los países a establecer sus regímenes de seguridad física nuclear, y se coordinan con el OIEA, a petición del país, para que este pueda examinar su régimen de seguridad física nuclear y determinar los aspectos que deben mejorarse. Los planes también ponen de relieve oportunidades para la prestación de asistencia a fin de promover el desarrollo de un régimen de seguridad física nuclear eficaz y sostenible.

Gracias a su flexibilidad, los INSSP pueden adaptarse para identificar las necesidades específicas del programa de reactores de investigación de un Estado, y pueden incluir actividades de capacitación específicas en la esfera de la seguridad física nuclear y apoyo para elaborar procedimientos administrativos o concebir ejercicios o mejoras en materia de protección física.

“Formular un INSSP con la ayuda del OIEA nos ayudó a evaluar nuestro régimen nacional de seguridad física nuclear en su conjunto y nos permitió determinar cómo podemos adaptar la seguridad física nuclear para que se ajuste a nuestro reactor de investigación y aprovechar de la mejor manera posible la asistencia del OIEA en ese proceso”, afirma Nasiru Bello, Director de Seguridad Nuclear, Seguridad Física y Salvaguardias de la Autoridad Reguladora Nuclear de Nigeria.

Nigeria posee un reactor de investigación, que lleva en funcionamiento desde 2004, y en 2010 formuló su INSSP. Este plan ayudó a Nigeria a adoptar medidas, con el apoyo del OIEA, para fortalecer la seguridad física nuclear del reactor de investigación del país, de conformidad con lo dispuesto en las publicaciones de la *Colección de Seguridad Física Nuclear del OIEA*. Este enfoque sistemático se centró además en la capacitación del personal del reactor de investigación y en la creación de capacidad en materia de reglamentación.

El OIEA sigue buscando formas de ampliar su apoyo, y uno de los instrumentos más recientes en los que está trabajando es la descripción de la instalación del Instituto de Investigaciones Hipotéticas sobre Energía Atómica (HARI). El HARI es un documento de referencia que describe muchos aspectos, entre ellos la seguridad física, relacionados con los reactores de investigación y sus instalaciones conexas, y puede utilizarse para que un país acumule un mayor conocimiento de las recomendaciones de seguridad física nuclear, así como para crear conocimientos sobre cómo implementar las recomendaciones de seguridad física nuclear y adquirir experiencia práctica al respecto. El HARI será un instrumento más que los países pueden utilizar para atender sus prioridades, tanto si se han determinado mediante un INSSP o una misión de examen por homólogos como por otras vías.

# Los países apuestan por el uranio poco enriquecido como combustible para sus reactores de investigación

Laura Gil



## Carga y sujeción de uranio muy enriquecido para su transporte.

(Fotografía: GAEC)

En el marco de las iniciativas mundiales respaldadas por el OIEA, en los últimos decenios se han retirado casi 3500 kg de uranio muy enriquecido (UME) de emplazamientos de reactores de investigación en todo el mundo. A petición de los Estados Miembros, el OIEA ha ayudado a convertir los reactores de investigación para que utilicen como combustible uranio poco enriquecido (UPE) a fin de reducir los riesgos de proliferación asociados al UME, que contiene más de un 20 % de uranio 235 fisible.

Aunque la mayoría de los reactores de investigación se construyeron en los años sesenta y setenta del siglo XX con tecnología que necesitaba UME para realizar experimentos destinados a la investigación científica, hoy muchas de estas investigaciones pueden llevarse a cabo con UPE, cuya concentración en uranio 235 radiactivo es inferior al 20 %.

“La comunidad internacional ha logrado aportar soluciones tecnológicas para convertir los reactores de investigación a fin de que utilicen combustible de UPE en lugar de combustible de UME”, explica Thomas Hanlon, experto en ingeniería

nuclear del OIEA. “El secreto está en hacerlo sin poner en peligro la investigación científica”.

Actualmente hay alrededor de 220 reactores de investigación en funcionamiento en 53 países de todo el mundo, 171 de los cuales se construyeron con un núcleo de UME. Desde 1978 se han convertido 71 reactores que utilizaban combustible de UME para que utilicen combustible de UPE. Los reactores nucleares de potencia, que se utilizan para generar electricidad, funcionan con UPE.

El OIEA ha prestado apoyo en las actividades de conversión para utilizar combustible de UPE en lugar de combustible de UME o en la repatriación del UME en Austria, Bulgaria, Chile, China, Georgia, Ghana, Hungría, Jamaica, Kazajstán, Letonia, Libia, México, Nigeria, Polonia, Portugal, la República Checa, Rumania, Serbia, Ucrania, Uzbekistán y Viet Nam. También ha ayudado a reducir al mínimo el UME mediante proyectos de cooperación técnica, misiones de investigación, proyectos coordinados de investigación, reuniones técnicas y de consultores y asistencia en materia de adquisiciones.

## Aprendizaje mutuo

Recientemente, Ghana se ha convertido en un ejemplo para otros explotadores de reactores miniatura fuente de neutrones (MNSR) después de que el país, con la ayuda del OIEA, lograra convertir en 2017 su Reactor-1 de Investigación de Ghana (GHARR-1). La Comisión de Energía Atómica de Ghana, o GAEC, ha construido una instalación internacional de capacitación en MNSR en la que profesionales procedentes de otros países pueden practicar la extracción de una imitación del UME de la vasija del reactor.

“Enriqueciendo menos el material, reducimos su atractivo y hacemos del mundo un lugar mejor”, declara Benjamin Nyarko, Director General de la GAEC, que añade que la labor de conversión para que el reactor utilice uranio enriquecido al 13 % en lugar de al 90,2 % se acompañó de un cambio tecnológico que ha permitido aumentar en más de un 10 % la potencia del reactor.

En 2018 se retiró el UME del único reactor de investigación en funcionamiento de Nigeria, el Reactor-1 de Investigación de Nigeria (NIRR-1), y se convirtió para su funcionamiento con UPE. El OIEA ayudó en la conversión, así como en la capacitación del personal pertinente y el intercambio de la experiencia de otros países. Para ensayar la conversión del reactor, expertos nigerianos llevaron a cabo un simulacro de retirada de UME en el centro de capacitación de Ghana. Tras la conversión del reactor de Nigeria, ya no quedan más reactores de investigación en África que funcionen con combustible de UME.

Las labores de conversión requieren de un personal altamente capacitado y de equipo. El paso más complejo de este proceso suele ser el transporte del UME gastado, para lo cual se

utilizan camiones, barcos o aviones. Una vez el combustible de UME llega a su destino, se almacena en condiciones de seguridad o se diluye hasta unos niveles de enriquecimiento inferiores.

“En 2010, transportamos desde Chile aproximadamente 14 kg de UME a los Estados Unidos de América, en lo que fue la última de las tres últimas operaciones que han permitido liberar al país de este combustible”, explica Rosamel Muñoz Quintana, Jefe de Comunicación Corporativa de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. “El transporte suscitó un gran interés entre el público. Se utilizaron camiones y aviones especialmente acondicionados, y se tuvieron en cuenta todos los aspectos relacionados con la seguridad física y la protección radiológica necesarios en operaciones de ese tipo”.

## Conversión de más reactores de investigación para que utilicen UPE

Queda mucho por hacer. Aunque ya se han convertido 71 reactores de investigación para que utilicen combustible de UPE y 28 que utilizaban combustible de UME se han puesto en régimen de parada, todavía quedan 72 reactores más que funcionan con UME. En muchos casos esto responde a razones científicas.

“Se necesita mucha ingeniería creativa para encontrar la manera de conseguir que el reactor tenga una capacidad similar utilizando UPE en el mismo espacio diseñado originalmente para el UME”, expone el Sr. Hanlon. “Es como intentar preparar un café solo que tenga la intensidad habitual utilizando la misma cantidad de líquido en el mismo recipiente, pero menos granos de café”.



**Expertos realizan un simulacro en la instalación de capacitación en MNSR de Ghana.**

(Fotografía: GAEC)

# Verificar la investigación

## Aplicación de salvaguardias en los reactores de investigación

Adem Mutluer



**Inspectores de salvaguardias del OIEA reciben capacitación para comprobar todo el material nuclear en una instalación de reactor de investigación.** (Fotografía: D. Calma/OIEA)

Una parte importante de la labor del OIEA en materia de verificación nuclear consiste en asegurarse de que los materiales y la tecnología nucleares se utilizan con fines pacíficos. Mientras que solo 30 países poseen centrales nucleares e instalaciones del ciclo del combustible, más de 50 explotan reactores de investigación. En 2018, se aplicaron salvaguardias del OIEA en unas 150 instalaciones con reactores de investigación. Estas instalaciones suponen un desafío en materia de salvaguardias puesto que, a diferencia de los reactores nucleares de potencia, los diseños de los reactores de investigación varían considerablemente, y las medidas de salvaguardias que se les aplican tienen que adaptarse en función del tipo de reactor.

“Que la potencia sea baja no significa que haya menos motivos de preocupación”, explica Djamel Tadjer, inspector superior encargado de la coordinación a nivel de los Estados en el OIEA. “Mientras que los reactores de investigación ofrecen importantes beneficios en esferas como la salud y el desarrollo, sigue existiendo la posibilidad de que el material nuclear se desvíe de los usos pacíficos o de que el reactor se utilice de manera indebida. Así pues, la aplicación de salvaguardias en los reactores de investigación es una parte fundamental de la labor de verificación del OIEA”.

Un subproducto de los reactores de investigación es el plutonio, un material que se puede utilizar para producir energía nucleoelectrónica y en la investigación, pero que también

es un ingrediente de la fabricación de armas nucleares. Y aunque un único reactor de investigación produce una cantidad de plutonio pequeña, este hecho sigue constituyendo un motivo de preocupación desde el punto de vista de las salvaguardias.

Durante la verificación, el OIEA considera el tiempo que un reactor de investigación necesita para producir una cantidad significativa de material nuclear, es decir, la cantidad aproximada de material nuclear respecto de la cual no se puede excluir la posibilidad de fabricar un dispositivo explosivo nuclear. El OIEA recibe asimismo información del Estado anfitrión sobre el diseño y la configuración de la instalación, así como sobre la forma, la cantidad, la ubicación y el flujo del material que se está utilizando. Sobre la base de esta información, el OIEA establece un enfoque de salvaguardias adaptado a las especificaciones de la instalación. El OIEA puede entonces verificar la corrección y la exhaustividad de la información sobre el diseño facilitada por el Estado y confirmar que la instalación y el material nuclear allí presente se están utilizando de acuerdo con la información notificada.

### Diferentes usos y diseños

Muchas instalaciones de reactores de investigación contienen celdas calientes. Estas cámaras de contención protegen a los trabajadores de la radiación nuclear; el trabajador permanece fuera de la celda y utiliza brazos manipuladores para manejar de forma segura el equipo y los materiales nucleares situados

en el interior de la cámara. Las celdas calientes se emplean sobre todo para separar isótopos con fines médicos, pero también pueden utilizarse para extraer plutonio a pequeña escala del combustible irradiado producido por un reactor de investigación. Los inspectores de salvaguardias del OIEA están capacitados para detectar la extracción de plutonio.

Un número más reducido de reactores de investigación utilizan uranio muy enriquecido (UME) —uranio enriquecido por encima del 20 % en uranio 235—, que es otro material que puede utilizarse para fabricar armas nucleares. Aunque muchos reactores de investigación ya se han convertido para funcionar con uranio poco enriquecido (UPE) —que no se puede utilizar directamente para fabricar armas nucleares—, los inspectores de salvaguardias del OIEA comprueban aun así todo el material nuclear presente en la instalación del reactor de investigación a fin de verificar la corrección y la exhaustividad de la declaración presentada por el Estado.

“Debido a las diferencias en el diseño y el uso de los reactores de investigación, no existe una lista de comprobación general para determinar que se cumplen los requisitos de salvaguardias en instalaciones de este tipo”, sostiene el Sr. Tadjer. “En su lugar, capacitamos a nuestros inspectores para que busquen indicios de uso indebido en los reactores de investigación y de desviación de materiales nucleares. El papel de los inspectores consiste en detectar incongruencias y, acto seguido, saber hacer las preguntas correctas”.

### Cumplimiento de las obligaciones de salvaguardias

No obstante, la aplicación de salvaguardias no es tarea exclusiva de los inspectores del OIEA, pues los Estados también tienen que cumplir determinados requisitos. El OIEA ofrece a los Estados asistencia en el cumplimiento de

estos requisitos en lo que respecta a la incorporación de las salvaguardias en el diseño de una instalación, la realización de la contabilidad del material nuclear y el cumplimiento de los requisitos jurídicos de la aplicación de salvaguardias. Esta asistencia incluye orientaciones sobre cómo incorporar las consideraciones relativas a las salvaguardias al diseño de los reactores de investigación. El OIEA ofrece también misiones de asesoramiento en el país con el objetivo de ayudar a los sistemas nacionales de contabilidad y control de materiales nucleares (SNCC) a cumplir sus obligaciones.

Considerar los requisitos de salvaguardias en una fase temprana del proceso de diseño del reactor de investigación permite reducir los requisitos relativos a la verificación de los materiales nucleares que se exigirán en el futuro al explotador de la instalación. Por ejemplo, la posibilidad de aplicar la monitorización a distancia es eficaz desde el punto de vista de los costos y mantiene la eficacia de las salvaguardias, al tiempo que reduce la necesidad de actividades de inspección *in situ*. Un ejemplo de monitorización a distancia es el uso de un monitor termohidráulico de potencia avanzado, que evalúa el flujo de refrigerante y la extracción de calor para calcular la producción de plutonio del reactor. Si saben cuánto plutonio produce el reactor durante un período de tiempo determinado, los inspectores pueden adaptar la frecuencia de las inspecciones, lo que ahorra tiempo al inspector y al explotador.

“En la aplicación de salvaguardias en los reactores de investigación, como sucede con la aplicación de salvaguardias en cualquier instalación nuclear, la cooperación entre el Estado y el OIEA es muy importante”, sostiene el Sr. Tadjer. “Trabajando juntos y utilizando tecnología moderna, como el monitor termohidráulico de potencia avanzado, el OIEA puede verificar de forma más eficaz y eficiente que el material nuclear sigue utilizándose con fines pacíficos”.

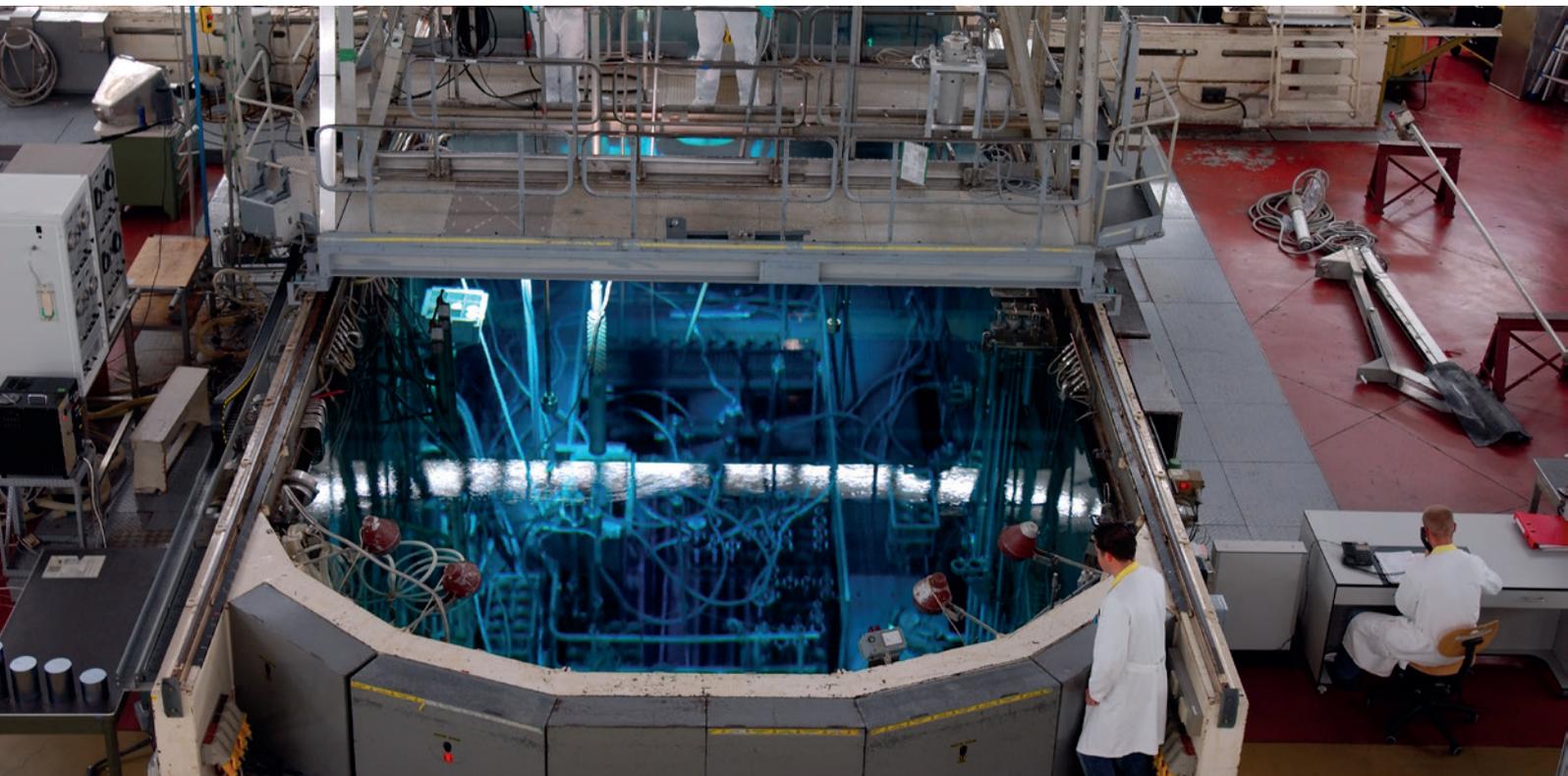
**Una celda caliente es una cámara de contención que protege a los trabajadores de la radiación nuclear.**

(Fotografía: OIEA)



# Gestión del envejecimiento de los reactores de investigación para garantizar un funcionamiento seguro y eficaz

Joanne Liou



## Zona de contención en el interior del reactor Belga 2.

(Fotografía: SCK•CEN)

Más de dos tercios de los reactores de investigación en funcionamiento en todo el mundo supera ya los 30 años. Por este motivo, explotadores y reguladores se están centrando en renovar y modernizar los reactores para garantizar que puedan seguir funcionando de forma segura y eficiente.

“La vida de los reactores de investigación suele estar determinada por la necesidad de su uso y por su adecuación a unos requisitos de seguridad actualizados, ya que la mayoría de sus sistemas y componentes pueden reemplazarse, renovarse o modernizarse sin grandes dificultades”, explica Amgad Shokr, Jefe de la Sección de Seguridad de los Reactores de Investigación del OIEA. “Las actividades de renovación y de modernización no deberían limitarse exclusivamente a los sistemas y los componentes; los explotadores deberían revisar también los procedimientos de seguridad teniendo en cuenta las normas de seguridad del OIEA a fin de evitar la interrupción de los servicios que prestan los reactores de investigación”.

Los reactores de investigación son, desde hace más de 60 años, centros de innovación y desarrollo para programas de ciencia y tecnología nucleares de todo el mundo. Estos pequeños reactores nucleares generan principalmente neutrones —en lugar de energía— con fines de investigación, enseñanza y capacitación, así como para aplicaciones en ámbitos como la industria, la medicina y la agricultura (encontrará más información en la página 4).

En los reactores de investigación, el envejecimiento puede ser de dos tipos: **envejecimiento físico**, que es el deterioro del estado físico de los sistemas y los componentes del reactor, y la **obsolescencia**, que se produce cuando la tecnología utilizada para las computadoras o para implementar los sistemas de instrumentación y control o los reglamentos de seguridad se quedan anticuados.

El envejecimiento de las instalaciones fue uno de los motivos de preocupación que llevó al OIEA a poner en marcha en 2001 el Plan de Mejora de la Seguridad de los Reactores

de Investigación, que tiene por objetivo ayudar a los países a garantizar un alto nivel de seguridad de los reactores de investigación. El plan incluye el Código de Conducta sobre la Seguridad de los Reactores de Investigación, que ofrece orientaciones a los países sobre la formulación y la armonización de políticas, leyes y reglamentos en materia de seguridad de los reactores de investigación.

Como parte de este plan, los países trabajan con el OIEA para implementar programas de gestión del envejecimiento sistemáticos que, entre otras cosas, utilicen buenas prácticas para reducir al mínimo el empeoramiento del desempeño de sistemas y componentes, monitorizar y evaluar de forma continuada el desempeño del reactor y aplicar mejoras de seguridad prácticas. Estos programas de gestión del envejecimiento pueden también beneficiarse de los programas operativos en otros ámbitos, como el mantenimiento, los ensayos periódicos, las inspecciones y los exámenes periódicos de la seguridad.

“Si bien el número de reactores de investigación en funcionamiento está descendiendo, su edad media va en aumento”, afirma Ram Sharma, ingeniero nuclear que trabaja en cuestiones de funcionamiento y mantenimiento de los reactores de investigación en el OIEA. “Así, es sumamente importante establecer, implementar y mejorar de forma continua planes de gestión, renovación y modernización para garantizar un funcionamiento y una utilización rentables que nos permitan sacar el máximo partido a los reactores de investigación existentes. El apoyo que presta el OIEA, por ejemplo las misiones de examen por homólogos, puede desempeñar un papel clave para lograr ese objetivo”. En la página 22 encontrará más información sobre los servicios de examen por homólogos relacionados con los reactores de investigación.

### Apoyo integral

A fin de hacer frente al envejecimiento de sus reactores de investigación, los países pueden recurrir a distintos tipos de apoyo que el OIEA presta, por ejemplo para elaborar normas de seguridad y optimizar la disponibilidad de los reactores, adoptar prácticas recomendadas basadas en las colecciones publicadas por el OIEA sobre seguridad y utilizar la información distribuida por el OIEA sobre elaboración y ejecución de proyectos de modernización y de renovación. Esta asistencia abarca también los nuevos programas de reactores de investigación y la evaluación de planes para abordar de manera proactiva el envejecimiento durante todas las fases de la vida de un reactor de investigación, desde el diseño y la selección de los materiales hasta la construcción y la explotación de las instalaciones.

Las misiones de examen se realizan a petición de un país y cuentan con el apoyo del OIEA y de grupos de expertos internacionales que llevan a cabo evaluaciones y formulan recomendaciones para futuras mejoras. En noviembre de 2017 se completó la primera misión de examen por homólogos sobre gestión del envejecimiento de reactores de investigación

en el reactor Belga 2 (BR2), uno de los tres reactores de investigación en funcionamiento del Centro de Estudios de Energía Nuclear (SCK•CEN). La misión se basó en la metodología de las misiones sobre los Aspectos de Seguridad de la Explotación a Largo Plazo (SALTO) para centrales nucleares, que se adaptó para ajustarla a los reactores de investigación.

“La misión determinó una serie de elementos que se estaban pasando por alto, como la gestión del envejecimiento de las instalaciones de producción de radioisótopos y de los dispositivos experimentales”, explica Frank Joppen, ingeniero de seguridad nuclear del SCK•CEN. “Como resultado, se están actualizando los sistemas de clasificación de los componentes y se están utilizando las observaciones formuladas sobre mantenimiento, inspección y vigilancia para seguir mejorando los programas de gestión del envejecimiento”.

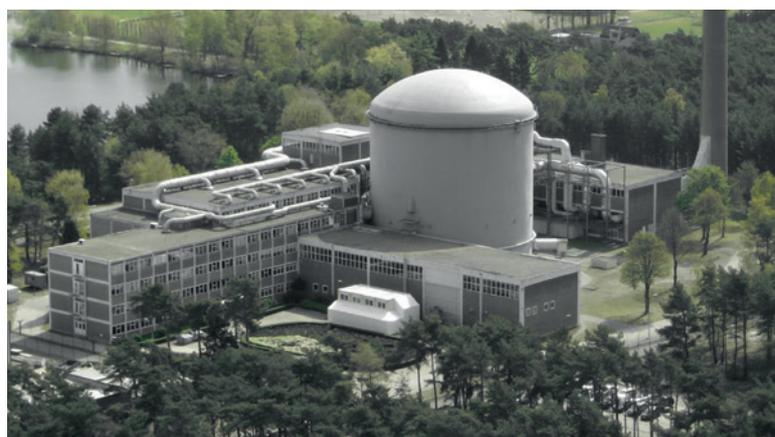
En funcionamiento desde 1963, el BR2 es uno de los reactores de investigación más antiguos en Europa Occidental. Produce alrededor de una cuarta parte del suministro mundial de radioisótopos para usos médicos e industriales, incluido el tratamiento del cáncer y la imagenología médica. Asimismo produce un tipo de silicio que se utiliza como material semiconductor en componentes electrónicos. El BR2 puede funcionar hasta el próximo examen periódico de la seguridad, que tendrá lugar en 2026, momento en que se decidirá si se prorrogará su explotación 10 años más.

“Seguiremos desarrollando el programa de gestión del envejecimiento del BR2, lo que implica tener en cuenta las observaciones formuladas durante la misión del OIEA”, afirma el Sr. Joppen. “Se examinará la eficiencia del programa, que será el objeto del próximo examen de la seguridad”.

Los Países Bajos y Uzbekistán han solicitado las próximas misiones de gestión del envejecimiento del OIEA para reactores de investigación, previstas para 2020. “La misión BR2 mostró que la metodología SALTO podía aplicarse eficazmente a los reactores de investigación. Seguiremos mejorando la eficiencia y la eficacia de esta misión, así como de otros servicios, a fin de maximizar los beneficios que reportan los reactores de investigación”, sostiene el Sr. Shokr.

### Reactor Belga 2 en el SCK•CEN.

(Fotografía: SCK•CEN)



# Clausura del primer reactor de investigación de Uzbekistán

Kendall Siewert

Una parcela arenosa y vacía rodeada de vegetación en Tashkent (Uzbekistán) puede parecer el lugar ideal para acoger un nuevo proyecto de construcción, pero la realidad es que este espacio es el resultado de la clausura del IIN-3M, un reactor de investigación retirado del servicio.

“Se optó por clausurar el reactor IIN-3M ya que apenas se había utilizado en los últimos años, el equipo estaba obsoleto y la instalación se encontraba cerca de un aeropuerto que los funcionarios se estaban planteando ampliar”, explica Fakhrulla Kungurov, Jefe de Laboratorio del Instituto de Física Nuclear de la Academia de Ciencias de Uzbekistán. “Nunca antes se había clausurado una instalación nuclear en Uzbekistán. El OIEA nos ayudó en cada fase del proceso, prestando apoyo en los momentos en que carecíamos de la experiencia y los conocimientos necesarios”.

La clausura del reactor IIN-3M, situado en el Complejo Tecnológico y de Radiación de Uzbekistán, se inició en 2015 y finalizó en 2019. El proceso comprendió la descontaminación, el desmantelamiento y la demolición de la instalación a fin de liberarla, junto con el emplazamiento, del control reglamentario. El reactor, que se había utilizado desde 1975 principalmente para el ensayo de semiconductores y de otros dispositivos, había dejado de funcionar en 2013. Es uno de los dos reactores de investigación del país; el otro sigue en funcionamiento.

Los reactores de investigación proporcionan una fuente de neutrones pensada para aplicaciones en ámbitos como la industria, la medicina, la investigación y la enseñanza y la capacitación, a diferencia de otros reactores nucleares de mayor tamaño, diseñados para generar electricidad. Una vez han cumplido su propósito y han sido retirados del servicio, deben ser clausurados, como cualquier otra instalación nuclear. El objetivo de la clausura es retirar todas las fuentes de radiactividad, el material contaminado y otras estructuras, de forma que el emplazamiento pueda utilizarse para otros fines.

Más del 60 % de los reactores de investigación en funcionamiento tienen más de 40 años. El número cada vez mayor de reactores que envejecen ha traído consigo un aumento de las actividades de clausura en todo el mundo; actualmente, hay más de 220 reactores de investigación en funcionamiento, mientras que 443 han sido clausurados.

Algunos países pueden decidir clausurar un reactor de investigación por múltiples razones, como los costos prohibitivos que supone ampliar su vida para mantenerlo en funcionamiento, la falta de financiación o una tecnología obsoleta, mientras que otros pueden decidir renovarlos y mantenerlos en funcionamiento para seguir beneficiándose de su uso. Sin embargo, tiene que haber un plan de acción independientemente de que los explotadores y las autoridades decidan clausurar un reactor de forma inmediata o en un futuro lejano.

El OIEA ofrece apoyo y conocimientos especializados a los países que así lo solicitan para garantizar que estén bien preparados para llevar a cabo la clausura de forma tecnológica y físicamente segura, explica Vladimir Michal, Jefe de Grupo encargado de la clausura en el OIEA. Además, el OIEA edita normas de seguridad y publicaciones de referencia que ofrecen orientaciones y permiten intercambiar buenas prácticas en este ámbito, señala.

“Son los propios países los que deciden si siguen explotando un reactor o si lo ponen en régimen de parada, pero lo fundamental es clausurar los reactores que ya no están en funcionamiento”, afirma el Sr. Michal. “No clausurar los reactores de investigación inactivos, o hacerlo de forma inadecuada, puede provocar su deterioro estructural y un mayor riesgo para las personas y el medio ambiente”.



## Establecimiento de un plan

Actualmente, lo habitual es que la configuración inicial de un reactor de investigación incorpore un plan de clausura; esto, sin embargo, no era así en los años setenta del siglo XX, cuando se construyeron el IIN-3M y otros muchos reactores.

“Cuando empezaron a construirse reactores de investigación, la percepción general era que la clausura podía llevarse a cabo fácilmente, con unos recursos y una planificación mínimos. Sin embargo, es evidente que esto no es así”, asegura el Sr. Kungurov. “Como consecuencia, no disponíamos de un plan para el proceso de clausura, ni de información sobre cómo retirar o desinstalar el equipo, y aquí el apoyo del OIEA fue fundamental”.

El personal del OIEA y otros expertos internacionales viajaron a Uzbekistán en agosto de 2012 para evaluar el emplazamiento del reactor. El propósito de la visita era que los expertos evaluaran el estado de la instalación y recopilaran la información necesaria para ayudar a los funcionarios de Uzbekistán a prepararse para la clausura.

Sobre la base de los resultados de la visita realizada en 2012 y otras reuniones, los expertos del OIEA colaboraron con el grupo nacional para elaborar un plan de clausura —que incluía un calendario del proyecto y estimaciones de los costos— de acuerdo con las recomendaciones y las orientaciones del OIEA sobre la planificación de la clausura.

“Estimar los costos de la clausura fue una de las partes más difíciles del proceso de planificación, ya que nuestros explotadores nunca lo habían hecho y se necesita mucha documentación”, explica el Sr. Kungurov. Toda la información sobre la clausura del reactor IIN-3M, como los detalles sobre los procedimientos, el equipo y los instrumentos que debían utilizarse, se presentaron al órgano regulador nacional de Uzbekistán para su aprobación antes de empezar a trabajar sobre el terreno.

## Preparación para la clausura

Un paso importante antes de que el proceso de clausura pueda dar comienzo es retirar de los locales todo el combustible y las fuentes radiactivas, como establecen las normas de seguridad del OIEA. Para ello se necesita por lo general equipo especializado y expertos altamente capacitados.

En el caso del reactor IIN-3M, los expertos trabajaron con el OIEA en colaboración con Rusia y los Estados Unidos de América para extraer el combustible del reactor y enviarlo de vuelta a su país de origen: Rusia. En este caso, la forma del combustible gastado —uranio líquido muy enriquecido— suponía un desafío especial, pues era la primera vez que este tipo de combustible se devolvía a su país de origen por vía aérea. En el marco de esta cooperación también se prepararon varias fuentes radiactivas líquidas en desuso y se transportaron desde el emplazamiento hasta una instalación de disposición final.

Solo entonces pudo empezar el proceso de descontaminación, desmantelamiento y demolición.

Durante el proceso de clausura, se desmontó el equipo pieza a pieza, incluida la vasija del reactor, se eliminó la contaminación superficial, se garantizaron unos niveles de radiación seguros y se eliminaron las capas de hormigón utilizadas en la caja del reactor. El OIEA prestó apoyo en cada una de las fases del proceso.

Una vez terminado el proceso de clausura, el OIEA, a petición del Gobierno de Uzbekistán, promovió un estudio del emplazamiento a fin de comprobar que los niveles de radiactividad fueran seguros. Los resultados mostraron que la clausura había sido un éxito, ya que no se halló radiactividad residual significativa. Esta medición independiente se correspondía con la evaluación del emplazamiento efectuada por el Gobierno de Uzbekistán; conjuntamente, estos resultados confirmaron que era seguro utilizar el emplazamiento para otros fines.

## Instalación del reactor de investigación IIN-3M durante la fase de demolición del proceso de clausura.

(Fotografía: Academia de Ciencias de Uzbekistán)



# Mantener la sostenibilidad de los reactores de investigación

Los reactores de investigación siguen siendo un medio indispensable para producir los radioisótopos que se utilizan en la medicina y en la industria y los haces de neutrones empleados en el estudio de los materiales y en los ensayos no destructivos, así como para los servicios analíticos y de irradiación de los sectores privado y público. El uso de estos reactores también desempeña una función estratégica en la educación y la capacitación de una nueva generación de científicos e ingenieros en apoyo de programas de ciencia y tecnología nucleares.

De los 841 reactores de investigación construidos hasta la fecha, muchos ya se han clausurado o están a la espera de ser clausurados; de los 224 reactores de investigación que todavía están en funcionamiento, más del 50 % tienen más de 40 años. Si bien actualmente se están construyendo 9 reactores de investigación en todo el mundo y alrededor de 30 nuevos reactores se encuentran en diferentes etapas de planificación, muchos otros están en régimen de parada por falta de financiación, de utilización o de planificación estratégica, cuestiones que, en el pasado, no se habían considerado importantes. Con una gestión y una utilización adecuadas, un reactor de investigación puede funcionar durante 60 años o más. No obstante, es sumamente importante disponer, con suficiente antelación, de programas adecuados de gestión de la vida consolidados, incluidos programas relacionados con la seguridad tecnológica, la seguridad física y la utilización.

## Colaborar para reducir los costos y aumentar la utilización

Los desafíos principales a los que se enfrentan en la actualidad los explotadores de reactores de investigación están relacionados con la financiación y la utilización. Por lo general, ni el Estado, ni la industria, ni el sector privado apoyan económicamente estos reactores a menos que existan beneficios visibles, por ejemplo investigaciones académicas como parte de un programa universitario nacional, la producción de radioisótopos de uso médico o el estudio de materiales en el marco de un programa de cooperación nacional o internacional. En función del nivel de potencia del reactor, que influye en el uso que se le da, un

programa de investigación multipropósito podría ser una solución óptima.

A fin de reducir los costos operacionales y, al mismo tiempo, aumentar la utilización, se pueden, por ejemplo, crear alianzas regionales de reactores de investigación entre dos o más instalaciones de reactores de investigación, que pueden así compartir tiempo de explotación y/o equipo costoso. Durante el último decenio, se han establecido y financiado varias alianzas de este tipo por medio de los cursos de capacitación de becarios en grupo del OIEA.

Un ejemplo de ello es la Iniciativa sobre Reactores de Investigación de Europa Oriental (EERRI), establecida por cuatro países, Austria, la República Checa, Hungría y Eslovenia, que, en total, explota seis reactores de investigación de distintos diseños. En el marco de esta red, desde 2009 se han impartido 15 cursos de capacitación de becarios en grupo, de 6 semanas de duración, a los que han asistido en total más de 120 personas. Los participantes han recibido capacitación en al menos 5 reactores de investigación, con niveles de potencia comprendidos entre los 100 kW y los 10 MW, y en temas como los aspectos físicos de los reactores, los sistemas de instrumentación y control, la protección radiológica y el análisis por activación.



Helmuth Boeck  
Profesor Asociado de Seguridad de los Reactores, Instituto de Física Atómica y Subatómica de la Universidad Técnica de Viena. Boeck tiene más de 45 años de experiencia en la utilización y el funcionamiento de reactores de investigación. Además, ha participado en calidad de experto en más de 80 misiones respaldadas por el OIEA.

Otras iniciativas similares son, por ejemplo, la Red Mundial de Reactores de Investigación TRIGA (GTRRN), creada para debatir y tratar cuestiones comunes de los reactores de investigación TRIGA —de los que hay más de 30 en funcionamiento en todo el mundo—, como el suministro de combustible, el apoyo técnico y la utilización mejorada.

### **Envejecimiento, parada y clausura**

De acuerdo con la Base de Datos de Reactores de Investigación del OIEA, en el mundo hay varios reactores de investigación en régimen de parada prolongada por motivos como la ausencia de un plan de utilización o debido a que su estado técnico no cumple las normas de seguridad internacionalmente aceptadas y, para cumplirlas, necesitarían una renovación o modernización amplias. En algunos casos, la renovación o la modernización puede ser tan costosa que resulta más económico mantener el reactor en régimen de parada. No obstante, incluso en ese estado sigue habiendo costos de mantenimiento. Por consiguiente, varios reactores de investigación permanecen inactivos sin que se sepa qué ocurrirá con ellos, lo que, a largo plazo, podría plantear verdaderos interrogantes en materia de seguridad física y de seguridad tecnológica.

Esta situación se ve agravada por la cuestión de cómo ocuparse del combustible gastado de los reactores, que debe gestionarse eficazmente, incluido su almacenamiento en una instalación de almacenamiento nacional, su reprocesamiento, su disposición final definitiva o su envío al país de origen. Esas opciones suelen ser costosas y deben implementarse oportunamente, respetando al mismo tiempo las normas de seguridad internacionales y garantizando la inversión financiera necesaria en una etapa temprana.

### **Sistemas de gestión para una planificación estratégica**

En el caso de la explotación a largo plazo de los reactores de investigación, debería establecerse un programa eficaz de gestión del envejecimiento que normalmente debería incluir, entre otras cosas, una evaluación detallada de la seguridad para la explotación a largo plazo y planes adecuados de renovación y modernización a fin de adaptar las instalaciones a las normas de seguridad más recientes.

Muchos reactores de investigación carecen de planes de clausura que deberían haberse elaborado al principio de la vida operacional del reactor y mantenerse actualizados posteriormente. Se han desarrollado diversas normas de seguridad del OIEA para proporcionar orientación sobre establecimiento de programas de gestión del envejecimiento, así como sobre clausura y gestión de reactores de investigación en régimen de parada prolongada.

Las cuestiones relacionadas con la parada, el envejecimiento y la clausura pueden abordarse al establecer un sistema general de gestión. Estos sistemas, además, deben diseñarse de modo que se ocupen de objetivos importantes, como la seguridad tecnológica, la salud, la seguridad física y cuestiones conexas, con miras a mejorar la explotación continuada y los servicios de un reactor de investigación, como se señala en las normas de seguridad del OIEA. El sistema debería proporcionar orientaciones genéricas que ayuden a establecer, poner en funcionamiento y evaluar un reactor de investigación y que ofrezcan orientaciones específicas sobre la explotación que se ajusten a las normas internacionales.

A fin de establecer un sistema de gestión, debería diseñarse un plan estratégico detallado adaptado a una instalación en concreto, en el que deberían participar todos los asociados, como las autoridades nacionales, la industria, los usuarios y el personal directivo de la instalación, para así racionalizar los fondos disponibles y los gastos operacionales. Este plan estratégico debe revisarse periódicamente para tener en cuenta los cambios que se vayan produciendo en la misión del reactor de investigación. El OIEA ha elaborado múltiples documentos para ayudar a los países a desarrollar e implementar planes estratégicos.

En conclusión, estos temas muestran cómo pueden mantenerse y/o mejorarse los reactores de investigación para garantizar la sostenibilidad. En función de la situación particular de un reactor de investigación específico, la entidad explotadora puede decidir adoptar medidas de mejora aprovechando, en particular, la experiencia y el apoyo del OIEA para mantener la sostenibilidad de su reactor de investigación.

## El OIEA y la FAO contribuyen a desarrollar bananos resistentes a las principales micosis



Ensayos de campo en los que se muestra la resistencia al TR4 de la nueva variedad de banano, ZJ4, en comparación con la variedad BaXi, vulnerable y que se cultiva en Guangdong (China).

(Fotografía: G. Yi/Guangdong (China))

Aunque los bananos son, tal vez, la fruta más popular del planeta, plantaciones de todo el mundo se ven amenazadas cada vez más por un nuevo hongo que destruye las plantas de banano y pone en peligro tanto los medios de vida de los agricultores como la industria.

El marchitamiento por el hongo *Fusarium* raza tropical 4 (TR4), que durante decenios había afectado únicamente a Asia Sudoriental, se detectó por primera vez en África y América Latina en 2019. Su aparición en Colombia en agosto de 2019 hizo que se declarara una emergencia nacional.

El OIEA, en colaboración con la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), ha trabajado con investigadores de todo el mundo para apoyar el desarrollo de nuevas variedades de especies de banano que podrían ser resistentes a la enfermedad.

“Los bananos modernos no pueden producir semillas, así que es difícil mejorarlos mediante el cruzamiento”, explica Ivan Ingelbrecht, Director del Laboratorio de Fitomejoramiento y

Fitogenética FAO/OIEA. Por lo tanto, una de las opciones predilectas a fin de combatir la enfermedad suele ser el uso de técnicas como la irradiación o la mutagénesis química para producir nuevas variedades con rasgos favorables.

Tras años de investigaciones, expertos chinos han presentado una nueva variedad de banano Cavendish, el que se exporta más habitualmente, que es resistente al TR4 y que se ha obtenido utilizando técnicas de mutagénesis química. Otros países, como Filipinas, se encuentran en etapas avanzadas en cuanto al desarrollo de sus propias variedades mediante irradiación gamma, señala el Sr. Ingelbrecht.

Durante más de un siglo, el marchitamiento por el hongo *Fusarium* ha sido un importante obstáculo para la producción de bananos. Esta enfermedad se debe a un hongo que se transmite por el suelo, el *Fusarium oxysporum* f. sp. *cubense*. El hecho de que el patógeno permanezca en el suelo durante decenios dificulta su erradicación. El TR4 es una nueva cepa de reciente aparición de este hongo. “Los hongos se

introducen en las plantas sensibles por las raíces e interfieren en la absorción de agua, lo que provoca que las hojas se marchiten y que, en última instancia, la planta del banano muera”, explica el Sr. Ingelbrecht.

La FAO estima que los daños directos anuales provocados por el TR4 en Asia Sudoriental ascienden a 400 millones de dólares de los EE. UU., aproximadamente, sin tener en cuenta los efectos socioeconómicos indirectos.

“Muchos agricultores se beneficiarán de la distribución de una nueva variedad de Cavendish, un éxito que hay que atribuir a la estrecha colaboración entre el OIEA y la FAO en materia de técnicas de mutagénesis”, declara Yi Ganjun, Vicepresidente de la Academia de Ciencias Agrícolas de Guangdong, en Guangzhou. “Esta tecnología de vanguardia ha supuesto un avance notable en la lucha contra el marchitamiento por el hongo *Fusarium*”.

“Los sensacionales resultados obtenidos por una nueva variedad de banano ‘local’, que es resistente al marchitamiento por el hongo *Fusarium*

TR4, dan muchas esperanzas a los agricultores de bananos que han probado con éxito las nuevas plantas en ensayos de campo”, añade el Sr. Yi. “Las técnicas de mutagénesis pueden contribuir a desarrollar nuevas plantas de banano que estén adaptadas a las condiciones ambientales del lugar”.

La nueva variedad se está multiplicando y distribuyendo actualmente a otras provincias. Los expertos chinos están dispuestos a ayudar a sus colegas de otros países a desarrollar variedades de bananos resistentes al TR4 y aptas para las condiciones climáticas y del suelo de sus respectivos territorios, añade el Sr. Yi.

Los científicos están utilizando técnicas *in vitro* para cultivar en tubos de ensayo miles de pequeñas plantas de banano aptas para la mutagénesis mediante sustancias químicas, rayos gamma o rayos X. Estas técnicas aceleran el proceso natural de mutación en las plantas y crean una diversidad genética que, posteriormente, puede utilizarse para producir nuevas variedades, como las que contienen rasgos favorables. Un proyecto coordinado de investigación en el que participan científicos de seis



### Fitotécnicos en una plantación de bananos con la nueva variedad Cavendish cultivada en Guangdong (China).

(Fotografía: G. Yi/Guangdong, (China))

países, entre los que se encuentran China y Filipinas, lleva desde 2015 liderando la labor de desarrollo de tipos de bananos resistentes al TR4.

“El éxito logrado en varios países asiáticos con la mutagénesis química y los prometedores progresos obtenidos

al utilizar la irradiación indican que, en un futuro no muy lejano, será posible desarrollar nuevas variedades resistentes al TR4 también en otras partes del mundo”, explica el Sr. Ingelbrecht. “El OIEA y la FAO están comprometidos a ayudar a los países a lograrlo”.

— Miklos Gaspar

## Un instrumento de 1 dólar para luchar contra la contaminación atmosférica

Un dispositivo nuevo y sencillo cuyo costo es inferior a 1 dólar de los EE. UU. podría contribuir a los esfuerzos mundiales para reducir los efectos nocivos de la contaminación atmosférica causada por las emisiones de amoníaco y, al mismo tiempo, mejorar el acceso a los alimentos. El pequeño instrumento de plástico fue diseñado por científicos brasileños en colaboración con el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Tras utilizar técnicas isotópicas para comprobar y confirmar su fiabilidad, el instrumento se está dando a conocer con el fin de ayudar a los países a monitorizar y gestionar mejor las emisiones de amoníaco procedentes de la agricultura, incluida la industria ganadera.

El amoníaco —un compuesto de nitrógeno e hidrógeno— es uno de los principales subproductos de la agricultura. Se trata de un gas que se libera, por ejemplo, durante la descomposición de los fertilizantes y el estiércol. La presencia de este gas ( $\text{NH}_3$ ) en la atmósfera puede actuar como fuente secundaria de óxido

nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ), un potente gas de efecto invernadero, y dañar los ecosistemas agravando la contaminación del agua, así como causar problemas de salud en las personas.

Cuando el fertilizante no se aplica correctamente, hasta la mitad del nitrógeno que contiene podría perderse en la atmósfera, pérdida que tiene además importantes consecuencias financieras. Comprender esta pérdida es fundamental para formular recomendaciones a los agricultores sobre la mejor forma de gestionar el uso que hacen de los fertilizantes, lo que a su vez puede ayudar a maximizar la productividad y los beneficios.

“De media, el 35 % de los fertilizantes nitrogenados que se utilizan en el Brasil acaba en la atmósfera en forma de amoníaco, lo que acarrea graves consecuencias para el medio ambiente y la economía”, asegura Segundo Urquiaga, edafólogo del Centro Nacional de Investigación Agrobiológica de la Empresa Brasileña de Investigación Agropecuaria (Embrapa).

La población mundial sigue aumentando y, con ella, la demanda de alimentos. Esto, a su vez, da lugar a la expansión de las industrias ganaderas y a una mayor dependencia respecto de los abonos nitrogenados sintéticos y orgánicos para producir alimentos, así como mayores emisiones de amoníaco. Se prevé que esta tendencia continúe durante el próximo decenio, lo que constituye una amenaza para la salud humana y el medio ambiente.

Expertos de países como el Brasil están buscando formas de medir y mitigar el amoníaco que se libera a la atmósfera. Si bien ya se dispone de muchos métodos sofisticados, como túneles de viento, la espectroscopia por exploración anular total de la cavidad y las técnicas micrometeorológicas, se trata de soluciones caras que requieren técnicos de campo altamente cualificados para hacerlas funcionar.

“Medir y mitigar este proceso ha sido una tarea laboriosa, larga y relativamente costosa en el pasado”, explica el Sr. Urquiaga. “Esta nueva técnica es rentable, rápida y puede



### Un instrumento nuevo y simple hecho con una botella de plástico podría ayudar a rastrear y reducir las emisiones de amoníaco procedentes de la agricultura y a mejorar la seguridad alimentaria.

(Fotografía: Embrapa)

adoptarse en cualquier lugar. Su uso tendrá un efecto directo para los agricultores, que no solo ahorrarán recursos, sino que también reducirán la contaminación atmosférica”.

#### Un nuevo instrumento único

Este nuevo instrumento es tan simple que sería fácil confundirlo con un proyecto de ciencias de enseñanza primaria. Para hacer la cámara, se retira la parte inferior de una botella de plástico grande de refresco y se une a la parte superior abierta de la botella. De este modo se protege una tira fina de espuma, que se ha remojado previamente en una solución de ácido que captura el amoníaco, situada en el interior de la botella y que desciende por ella hasta llegar a un pequeño vaso de plástico fijado al suelo con tres puntas metálicas. La cámara se coloca junto a las plantas o la zona ganadera que se debe monitorizar y la espuma se cambia cada 24 horas y se lleva al laboratorio para analizarla.

Este dispositivo singular y simple y sus instrucciones de uso son obra de científicos de la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, Embrapa y el Instituto Agronómico de Paraná (IAPAR) del Brasil.

“Este dispositivo podría ayudarnos a comprender cómo se producen las pérdidas de amoníaco y a avanzar

hacia soluciones climáticamente inteligentes que dejen nitrógeno en cantidad suficiente para aumentar la productividad de las plantas, especialmente en suelos fértiles y con poco nitrógeno, lo que puede tener efectos importantes en la producción de alimentos”, señala Mohammad Zaman, edafólogo y especialista en fitonutrición de la División Mixta FAO/OIEA.

El dispositivo puede utilizarse por sí solo para medir de forma precisa las pérdidas de amoníaco, o en combinación con otras prácticas agrícolas pensadas para reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y su impacto en el medio ambiente. Entre estas prácticas cabe mencionar los sistemas de riego por goteo, la aplicación conjunta de fertilizantes con inhibidores de la nitrificación y la rotación de cultivos con la inclusión de leguminosas capaces de fijar el nitrógeno.

#### Simple, pero fiable

Debido a la sencillez del diseño, una de las grandes preocupaciones era la fiabilidad de los resultados. Para probar la fiabilidad del dispositivo, los científicos utilizaron una técnica isotópica consistente en añadir nitrógeno 15 al fertilizante (véase el recuadro “Base científica”) para rastrear, medir y comparar la cantidad de amoníaco capturado por la cámara de plástico frente a la cantidad de amoníaco liberado, que se midió empleando el

método de balance de nitrógeno, que permite comprobar la cantidad de nitrógeno presente en el suelo a lo largo del tiempo. Dado que el amoníaco es un compuesto que contiene nitrógeno, los científicos pueden utilizar el método del nitrógeno 15 para rastrear las pérdidas de amoníaco.

Los resultados de los ensayos mostraron que la cámara es un método fiable y apto para rastrear las emisiones de amoníaco procedentes de los fertilizantes orgánicos y sintéticos que se utilizan en los cultivos anuales y perennes, así como de la excreción del ganado. “Este método permite medir y monitorizar el amoníaco de forma muy eficiente y precisa en comparación con el método tradicional de cámara cerrada”, señala el Sr. Urquiaga.

Expertos de seis países —Brasil, Chile, Costa Rica, Etiopía, Irán y Pakistán— ya han empezado a utilizar el instrumento, cuyo uso se espera que se generalice, indica el Sr. Zaman, sobre todo una vez los resultados del proyecto se hayan publicado en una edición especial de una revista científica internacional arbitrada por homólogos. Además, existe un plan para recomendar al Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) que incluya el instrumento como método de uso en sistemas agrícolas de todo el mundo, especialmente en países en desarrollo.

#### BASE CIENTÍFICA

El nitrógeno es un elemento importante para el crecimiento de las plantas y la fotosíntesis, proceso mediante el cual las plantas utilizan la energía de la luz solar para sintetizar nutrientes a partir del dióxido de carbono y el agua. A menudo se añade nitrógeno al suelo en forma de fertilizante. El uso de fertilizantes marcados con el isótopo estable nitrógeno 15 —es decir, con átomos que tienen un neutrón adicional en comparación con el nitrógeno “normal”— permite a los científicos rastrear la trayectoria de los isótopos para determinar la eficiencia con que los cultivos absorben el fertilizante, así como las diferentes pérdidas de nitrógeno relacionadas con el amoníaco. Esta técnica también ayuda a determinar la cantidad óptima de fertilizante que debe aplicarse.

— Nicole Jawerth y Elisa Mattar

## Los Estados Miembros del OIEA tendrán acceso a un contenedor de transporte de fuentes radiactivas gracias a una contribución de los Estados Unidos

El OIEA tendrá ahora acceso a un nuevo contenedor para transportar fuentes radiactivas selladas en desuso (DSRS) gracias a una contribución de la Administración Nacional de Seguridad Nuclear (NNSA) del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos de América que se anunció durante una ceremonia que tuvo lugar en la 63ª Conferencia General del OIEA.

El contenedor, del Tipo B(U) modelo 435-B, está diseñado para el transporte nacional e internacional de diversos tipos de fuentes y dispositivos radiactivos. Está certificado para transportar tanto fuentes de actividad muy alta, por ejemplo fuentes de teleterapia e irradiadores, como fuentes con algo menos de actividad, por ejemplo las que se utilizan en la gammagrafía industrial y en la braquiterapia con tasa de dosis alta o media.

Para celebrar la entrega del contenedor, se organizó una ceremonia en la Sede del OIEA en Viena en la que se cortó simbólicamente una cinta.

“Uno de los principales gastos ligados a la retirada de fuentes desde un Estado Miembro es el costo del transporte, así como el arrendamiento de un contenedor de transporte autorizado”, afirmó Mikhail Chudakov, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Energía Nuclear. “Ahora que el OIEA tendrá acceso directo a un contenedor provisto de su correspondiente licencia, podremos proporcionar un método más eficaz para el transporte en condiciones de seguridad tecnológica y de seguridad física de las fuentes radiactivas selladas en desuso, desde los locales de los usuarios hasta un destinatario autorizado para su gestión ulterior”.

Las fuentes radiactivas, que se emplean para múltiples aplicaciones en ámbitos como la medicina, la industria, la investigación y la agricultura, deben gestionarse adecuadamente, no solo durante su utilización, sino también cuando han llegado al final de su vida útil. Esto, por lo general, implica transportarlas a un lugar alejado de donde se utilizan.

Las opciones de gestión de las DSRS incluyen el almacenamiento provisional y a largo plazo, el reciclaje, la repatriación y la disposición



**El Director General Adjunto del OIEA, Mikhail Chudakov, y la Secretaria Adjunta de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos, Lisa E. Gordon-Hagerty, cortan la cinta frente a una maqueta a escala 1:10 del contenedor para el transporte de fuentes radiactivas selladas en desuso que los Estados Unidos han donado al OIEA para su uso en otros países.**

(Fotografía: S. Krikorian/OIEA)

final. El transporte también es una etapa importante de la gestión de las DSRS. Para retirar estas fuentes de un país y enviarlas a una instalación autorizada, es preciso transportarlas adecuadamente.

“Que el OIEA tenga acceso a este contenedor de transporte certificado facilitará el apoyo que el Organismo puede prestar para garantizar la gestión tecnológica y físicamente segura de nuestras fuentes radiactivas selladas en desuso”, explicó Marinko Zeljko, Director del Organismo Estatal de Regulación de la Seguridad Radiológica y Nuclear de Bosnia y Herzegovina.

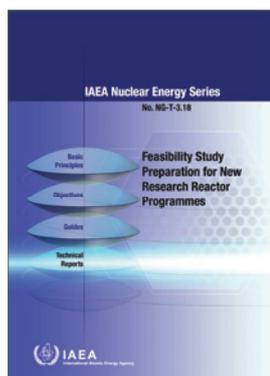
Transportar estas fuentes para su gestión al término de su vida ha sido un desafío en muchos países debido a la falta de contenedores apropiados provistos de una licencia especial para transportar DSRS. Disponer ahora de este contenedor 435-B permitirá al OIEA ayudar de forma más eficiente a las organizaciones encargadas de transportar las DSRS.

“La entrega del contenedor 435-B refuerza más la cooperación entre

los Estados Unidos de América y el OIEA, y espero que se acoja como un símbolo de nuestro compromiso a largo plazo con los esfuerzos del OIEA para promover la gestión adecuada de las fuentes radiactivas al término de su vida”, declaró Lisa E. Gordon Hagerty, Secretaria Adjunta de Seguridad Nuclear del Departamento de Energía (DOE) y Administradora de la NNSA. “Estas iniciativas no solo fortalecerán la seguridad física en todo el mundo, sino que también promoverán la salud pública y la seguridad”.

Desde 2014, el OIEA ha apoyado la retirada de más de 60 DSRS de actividad alta de más de 15 Estados Miembros. Las numerosas misiones que se han llevado a cabo para consolidar y acondicionar DSRS de actividad más baja han logrado que miles de estas fuentes se almacenen en condiciones de seguridad tecnológica y de seguridad física. En 2018, el OIEA ayudó a 5 países de América del Sur a retirar 27 DSRS, en el que ha sido el mayor proyecto de este tipo jamás facilitado por el Organismo.

— Matt Fisher

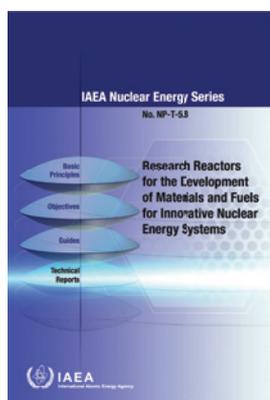


## Feasibility Study Preparation for New Research Reactor Programmes

La publicación describe los diferentes elementos que deben incluirse en el informe de un estudio de viabilidad para un proyecto de un nuevo reactor de investigación a fin de que el informe sea exhaustivo, sólido y esté estructurado de forma lógica. Proporciona orientaciones que permiten a la organización o al equipo de apoyo principal de un nuevo reactor de investigación llevar a cabo un estudio de viabilidad autoritativo y exhaustivo que pueda presentarse a los responsables de tomar decisiones para que estos lo examinen con miras a apoyar propuestas y aprobar un plan de acción para la construcción de una instalación de esas características. El texto incluye consideraciones relativas a la justificación para un nuevo reactor de investigación, a cuestiones fundamentales de infraestructura nuclear conexas y a aspectos relacionados con los análisis de costos y beneficios y la gestión del riesgo que deberían abordarse antes de autorizar el establecimiento de un nuevo reactor de investigación. Resolver estas cuestiones ayudará a los Estados Miembros a poseer un conocimiento más exhaustivo de todas las funciones, obligaciones y compromisos que intervienen en el establecimiento y el funcionamiento de un reactor de investigación y garantizar su cumplimiento durante todas las fases del ciclo del proyecto. La publicación también incluye una plantilla genérica para elaborar el informe de un estudio de viabilidad, así como ejemplos y enseñanzas extraídas por distintos Estados Miembros al elaborar dichos estudios.

*Colección de Energía Nuclear del OIEA* N° NG-T-3.18; ISBN: 978-92-0-104518-8; edición en inglés; 30,00 euros; 2018

[www.iaea.org/publications/12306/feasibility-study](http://www.iaea.org/publications/12306/feasibility-study)

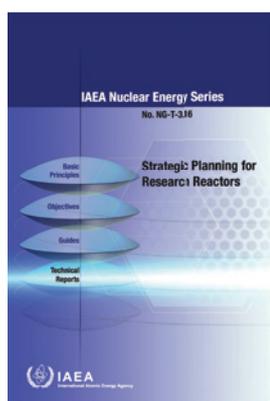


## Research Reactors for the Development of Materials and Fuels for Innovative Nuclear Energy Systems

En esta publicación se presenta un panorama general de las capacidades y las propiedades de los reactores de investigación en lo que respecta al desarrollo de combustibles y de materiales para reactores nucleares innovadores, como los de la Generación IV. El compendio proporciona información exhaustiva sobre las posibilidades que ofrecen 30 reactores de investigación, ya estén en funcionamiento o en desarrollo, para realizar investigaciones relacionadas con el ensayo de materiales y de combustibles, y presenta datos sobre, entre otras cosas, sus niveles de potencia, modo de funcionamiento, estado actual y disponibilidad, así como una reseña histórica de su utilización. Esta publicación responde a la voluntad de ampliar el acceso a la información sobre los reactores de investigación existentes en los que se pueden llevar a cabo estudios relacionados con ensayos de materiales avanzados y, de esta manera, velar por que aumente su utilización en este ámbito en particular. Se espera que sirva asimismo como instrumento de apoyo para la creación de redes regionales e internacionales por medio de coaliciones de reactores de investigación y de los centros internacionales basados en reactores de investigación designados por el OIEA.

*Colección de Energía Nuclear del OIEA* N° NP-T-5.8; ISBN: 978-92-0-100816-9; edición en inglés; 32,00 euros; 2017

[www.iaea.org/publications/10984/research-reactors-for-the-development-of-materials-and-fuels](http://www.iaea.org/publications/10984/research-reactors-for-the-development-of-materials-and-fuels)



## Strategic Planning for Research Reactors

Esta publicación es una revisión del documento IAEA-TECDOC-1212, que se centraba principalmente en la mejora de la utilización de los reactores de investigación existentes. La versión actualizada ofrece, además, orientaciones sobre cómo diseñar y aplicar un plan estratégico para un proyecto de nuevo reactor de investigación y resultará particularmente interesante para las organizaciones que están elaborando estudios de viabilidad con miras a establecer nuevas instalaciones de este tipo. La publicación permitirá al personal directivo determinar con más exactitud las capacidades reales y potenciales de un reactor existente, o la finalidad prevista de una nueva instalación y su tipo. Al mismo tiempo, el personal directivo podrá emparejar estas capacidades con las necesidades de las partes interesadas/los usuarios y fijar la estrategia para atender estas necesidades. El documento contiene además varios anexos, incluidos algunos ejemplos para clarificar el texto principal, así como plantillas que el equipo encargado de elaborar un plan estratégico puede utilizar a modo de ayuda.

*Colección de Energía Nuclear del OIEA* N° NG-T-3.16; ISBN: 978-92-0-101317-0; edición en inglés; 38,00 euros; 2017

[www.iaea.org/publications/10988/strategic-planning-for-research-reactors](http://www.iaea.org/publications/10988/strategic-planning-for-research-reactors)

Si necesita información adicional o desea encargar un libro, póngase en contacto con:

Dependencia de Mercadotecnia y Venta  
Organismo Internacional de Energía Atómica  
Vienna International Centre  
P.O. Box 100, A-1400 Viena (Austria)  
Correo electrónico: [sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

# Conferencia Internacional sobre SEGURIDAD FÍSICA NUCLEAR

## Mantener e Intensificar los Esfuerzos

10 a 14 de febrero de 2020  
Viena (Austria)

Sesión a nivel ministerial  
10 de febrero de 2020

Organizada por el



**IAEA**

Organismo Internacional de Energía Atómica  
*Átomos para la paz y el desarrollo*

#ICONS2020



CN-278

Lea este y otros números del *Boletín del OIEA* en línea en  
[www.iaea.org/bulletin](http://www.iaea.org/bulletin)

Para más información sobre el OIEA y su labor, visite [www.iaea.org](http://www.iaea.org)

o síganos en

