

# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Diciembre de 2023 | [www.iaea.org/es/bulletin](http://www.iaea.org/es/bulletin)

## REACTORES DE INVESTIGACIÓN

Los neutrones salvan vidas: reactores de investigación para la producción de isótopos de uso médico y radiofármacos, pág. 6

Las redes de reactores de investigación optimizan las operaciones para satisfacer la creciente demanda, pág. 14

Mantener en funcionamiento los reactores de investigación del planeta en fase de envejecimiento, pág. 16



### BOLETÍN DEL OIEA

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

Organismo Internacional de Energía Atómica  
Centro Internacional de Viena  
PO Box 100, 1400 Viena, Austria  
Teléfono: (43 1) 2600 0  
[iaeabulletin@iaea.org](mailto:iaeabulletin@iaea.org)

**Editora jefa:** Joanne Liou

**Diseño y producción:** Ritu Kenn

El BOLETÍN DEL OIEA puede consultarse en línea en  
[www.iaea.org/es/bulletin](http://www.iaea.org/es/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:

L. Gauna Pereira/CNEA

Síguenos en:



La misión del Organismo Internacional de Energía Atómica es ayudar a 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.

Además de proporcionar una plataforma mundial para el fortalecimiento de la seguridad física nuclear, el OIEA ha creado la *Colección de Seguridad Física Nuclear*, cuyas publicaciones, que gozan del consenso internacional, ofrecen orientaciones sobre ese tema. 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 los principios, requisitos y recomendaciones fundamentales para garantizar la seguridad nuclear 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 realiza, 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).

# Maximizar la versatilidad, la longevidad y el impacto de los reactores de investigación

Rafael Mariano Grossi, Director General del OIEA

Los reactores de investigación son catalizadores del avance científico y tecnológico. Forman parte integrante del cumplimiento de la misión del OIEA de fomentar los usos pacíficos de la ciencia y la tecnología nucleares, y sirven de instrumentos para la enseñanza, la investigación y el desarrollo. Gracias a sus capacidades únicas, los reactores de investigación desempeñan un papel fundamental para mejorar nuestra comprensión de la física nuclear, la ciencia de los materiales y la medicina. Esto, a su vez, tiene otras ventajas para la humanidad, como la producción de nuevos radiofármacos, por ejemplo.

Hay más de 220 reactores de investigación en funcionamiento en 54 países y otros 25 en proyecto o en construcción. El parque mundial actual está envejeciendo, ya que la mayoría de los reactores llevan ya más de 50 años en funcionamiento. Esto se puede gestionar y el OIEA está ayudando a los países a desarrollar y aplicar planes para renovar y modernizar los reactores, de manera que puedan seguir funcionando con seguridad y eficacia.

Mientras tanto, algunos países que se incorporan al ámbito nuclear están desarrollando sus primeras instalaciones de reactores de investigación, que pueden servir de trampolín hacia futuros programas de energía nucleoelectrónica. En el ámbito nuclear la seguridad tecnológica y física es primordial, y los reactores de investigación no son una excepción. El OIEA está dispuesto a apoyar a los países en el cumplimiento de sus responsabilidades nacionales para garantizar la seguridad tecnológica y física, así como la plena optimización de sus reactores de investigación, desde su diseño hasta su clausura. Para ello, lleva a cabo proyectos coordinados de investigación, misiones de expertos, exámenes por homólogos, orientaciones publicadas, instrumentos de planificación y capacitaciones. Actualmente el OIEA respalda más de 30 proyectos de cooperación técnica sobre reactores de

investigación, en los que participan países de todo el mundo. Estos proyectos son tan polifacéticos como los usos de los reactores de investigación, y van desde la mejora de la seguridad nuclear, la utilización y el comportamiento operacional de los reactores, hasta el desarrollo de una infraestructura nuclear para el primer reactor de investigación de un país.



En esta edición del *Boletín del OIEA* se presenta la versatilidad de los reactores de investigación y su enorme impacto en nuestras vidas y medios de subsistencia. Desde los tratamientos médicos hasta la mejora de materiales y combustibles avanzados, los reactores de investigación sientan las bases del progreso científico y el desarrollo socioeconómico. Mientras los países se enfrentan a los acuciantes desafíos del cambio climático y la seguridad energética, los reactores de investigación permiten desarrollar y probar soluciones energéticas innovadoras que incorporan la fisión nuclear y la energía de fusión. Asimismo, se utilizan habitualmente para ayudar a detectar fuentes de contaminación atmosférica, apoyar el manejo de la tierra, producir radioisótopos para tratamientos que salvan vidas y evaluar la integridad estructural de los edificios.

Con tantos usos, los reactores nucleares de investigación son una herramienta importante. El OIEA apoya activamente a los países para que los aprovechen al máximo, con la voluntad de que todos puedan disfrutar de sus numerosos beneficios.



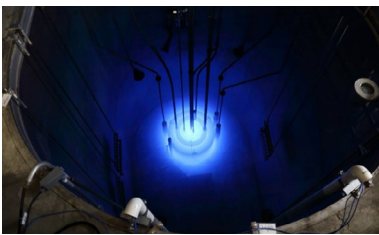
Fotografías: OIEA



**1 Maximizar la versatilidad, la longevidad y el impacto de los reactores de investigación**



**4 ¿Qué son los reactores de investigación? ¿Cómo contribuyen al desarrollo sostenible?**



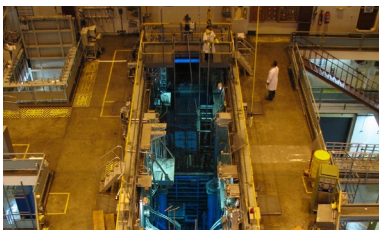
**6 Los neutrones salvan vidas**  
Reactores de investigación para la producción de isótopos de uso médico y radiofármacos



**8 Los avances en imagenología neutrónica abren posibilidades para los reactores de investigación de baja potencia**



**10 Un nuevo servicio de examen por homólogos del OIEA ayuda a los países a maximizar la capacidad y la utilidad de los reactores de investigación**



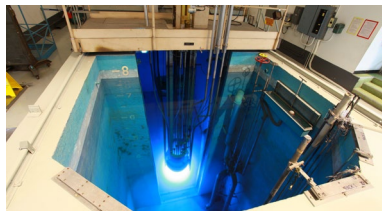
**12 Apoyo a científicos africanos para aprovechar las capacidades de los reactores de investigación para el desarrollo socioeconómico**



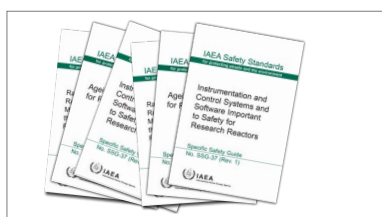
**14 Las redes de reactores de investigación optimizan las operaciones para satisfacer la creciente demanda**



## 16 Mantener en funcionamiento los reactores de investigación del planeta en fase de envejecimiento

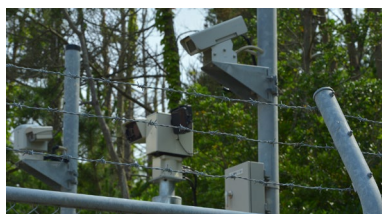


## 20 Planificación de recursos humanos para programas de reactores de investigación



## 22 Rápido y eficaz

Un nuevo enfoque para actualizar las guías de seguridad del OIEA



## 24 Protección de los reactores de investigación de Egipto contra las amenazas a la seguridad física nuclear



## 26 Nuevos instrumentos del OIEA ayudan a los países a decidir sobre la gestión del combustible gastado de los reactores de investigación

### PANORAMA MUNDIAL

---

## 28 La experiencia del Brasil: reactores de investigación en beneficio de la sociedad

### NOTICIAS DEL OIEA

---

## 30 Noticias del OIEA

## 32 Publicaciones

# ¿Qué son los reactores de investigación? ¿Cómo contribuyen al desarrollo sostenible?

Joanne Liou and Xinwen Tang

Más de un tercio de los reactores nucleares en funcionamiento en todo el mundo se utilizan para la investigación, el ámbito académico y la producción de radioisótopos, y no para la generación de energía. A diferencia de los reactores nucleares de potencia, diseñados para generar electricidad, los reactores nucleares de investigación se utilizan principalmente para producir neutrones. Los neutrones son partículas subatómicas sin carga eléctrica que se utilizan en diversas aplicaciones, como el estudio de materiales a nivel atómico, la producción de radioisótopos para la medicina, la industria y la investigación, y la imagenología de la estructura interna de los objetos.

Hay alrededor de **220** reactores de investigación en funcionamiento en **54** países, y unos **25** están en construcción o en fase de planificación.

Hay alrededor de 220 reactores de investigación en funcionamiento en 54 países, y unos 25 están en construcción o en fase de planificación. Desempeñan un papel clave no solo en el avance de las tecnologías nucleares, sino también en la mejora de muchos aspectos de la vida cotidiana al ayudar a los países a alcanzar objetivos de desarrollo sostenible. Los reactores de investigación presentan diversos tamaños y diseños. A menudo se encuentran en institutos académicos y de investigación, son más pequeños y funcionan a temperaturas más bajas que las de los reactores de potencia convencionales. La potencia térmica de la mayoría de los reactores de investigación oscila entre 0 y 100 megavatios (térmicos) (MV(t)), frente a los 3000 MV(t) de un gran reactor nuclear de potencia. Por consiguiente, la cantidad de combustible nuclear utilizado y el volumen de desechos radiactivos producidos son considerablemente menores en los reactores de investigación.

## ¿Cómo se utilizan los reactores de investigación?

Los reactores de investigación se diseñan y utilizan para experimentos y actividades de enseñanza y capacitación, así como para la producción de radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales. Ofrecen un entorno controlado para estudiar y comprender el comportamiento de los materiales, la interacción de los neutrones y los efectos de la radiación. Además de apoyar la investigación en muchas disciplinas, los reactores de investigación son fundamentales para el desarrollo de la energía nuclear. En cuanto a bancos de pruebas para tecnologías de los reactores innovadores, ofrecen un entorno

realista para experimentar con materiales y combustibles nucleares. Los reactores de investigación también brindan oportunidades de enseñanza y capacitación para el personal de las instalaciones nucleares, de protección radiológica y de reglamentación, así como para estudiantes e investigadores.

## ¿Cómo contribuyen los reactores de investigación a los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas?

Los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) son un conjunto de 17 objetivos fijados en 2015 por las Naciones Unidas para hacer frente a desafíos en todo el mundo en diversos ámbitos, como la salud, la educación y la energía. Los reactores de investigación contribuyen a abordar varios de los ODS, entre ellos:



**ODS 3.** Los reactores de investigación son fundamentales para la imagenología médica y el tratamiento del cáncer. Producen radioisótopos que se utilizan en el 85 % de los procedimientos de medicina nuclear y son esenciales para el desarrollo de nuevos radiofármacos, que benefician a millones de personas cada año al mejorar los métodos de diagnóstico y los tratamientos de diversos tipos de cáncer. Rayos de esperanza, la iniciativa emblemática del OIEA contra el cáncer, ayuda a los países a aumentar el acceso a estos tratamientos que salvan vidas.



**ODS 4 y ODS 5.** Como herramienta para la enseñanza y la capacitación, los reactores de investigación están al servicio de estudiantes de todos los géneros. Los talleres, las capacitaciones y las misiones respaldadas por el OIEA, así como el Programa de Becas del OIEA Marie Skłodowska-Curie y el Programa Lise Meitner, cultivan una fuerza de trabajo inclusiva que contribuye a la innovación científica y tecnológica en todo el mundo y la impulsa.



**ODS 6.** Los reactores de investigación desempeñan un papel clave en el desarrollo de técnicas de esterilización por medio de la radiación para el tratamiento de aguas. El tratamiento por irradiación de las aguas residuales es un método eficaz para eliminar microorganismos nocivos, patógenos y otros contaminantes del agua, de manera que esta sea segura para el consumo y otros usos.



**ODS 7.** Los reactores de investigación permiten desarrollar y probar nuevas tecnologías energéticas. Los investigadores pueden evaluar conceptos novedosos de reactores nucleares, combustibles y materiales para optimizar los

diseños de los reactores nucleares de potencia con miras a mejorar la seguridad, la eficiencia y el rendimiento, y contribuir así a un futuro basado en la energía limpia. Atoms4NetZero es una iniciativa del OIEA que respalda la labor de los países encaminada a aprovechar el poder de la energía nuclear para la transición a emisiones netas cero. Los reactores de investigación, mediante técnicas como la imagenología neutrónica, la dispersión neutrónica y el perfilamiento en profundidad por neutrones, también se utilizan para estudiar conceptos de energía no nuclear como las celdas de combustible de hidrógeno y las baterías de ion litio.



**ODS 8.** Los estudiantes, investigadores y profesionales del ámbito nuclear pueden adquirir experiencia práctica y conocimientos gracias a las capacitaciones impartidas con reactores de investigación, que les permiten prepararse para oportunidades en el sector nuclear y campos afines. Además, los reactores de investigación se utilizan para suministrar productos y prestar servicios, como el dopado del silicio, que introduce impurezas en el silicio para modificar las propiedades eléctricas de los dispositivos electrónicos.



**ODS 9.** Los reactores de investigación fomentan la innovación en diversos ámbitos, desde la electrónica y los materiales de construcción para condiciones extremas hasta la medicina, entre otros. Los neutrones producidos por los reactores de investigación también son valiosos para realizar ensayos no destructivos en diversas industrias, gracias a los cuales se puede garantizar la calidad y seguridad de los objetos.



**SDG 17.** Trabajar en favor del desarrollo sostenible es un esfuerzo colectivo, y muchos institutos y universidades que albergan reactores de investigación participan en proyectos colaborativos y actividades de investigación que mejoran la cooperación regional e internacional en materia de ciencia, tecnología e innovación, así como el acceso a estas.

### ¿Qué función desempeña el OIEA?

El OIEA apoya a los países en el uso eficiente y sostenible de los reactores de investigación, de manera que puedan aprovechar plenamente los beneficios de estas instalaciones nucleares. El Organismo ofrece cursos de capacitación y talleres sobre reactores de investigación, así como publicaciones sobre orientaciones y normas de seguridad y cursos de aprendizaje electrónico. Los proyectos coordinados de investigación del OIEA fomentan la cooperación internacional y el establecimiento de redes entre expertos, además de impulsar el avance de la ciencia en torno a los reactores de investigación.

Mediante las misiones de examen para reactores de investigación del OIEA se apoyan nuevos proyectos de reactores de investigación. También se evalúan las prácticas de los países según las orientaciones y normas del OIEA para mejorar la explotación, la utilización, la seguridad y el mantenimiento de las instalaciones de los reactores. Varios proyectos de cooperación técnica del OIEA se centran también en reforzar las capacidades técnicas de los países en materia de explotación y mantenimiento para mejorar la seguridad, fiabilidad y utilización de los reactores de investigación.

Vista aérea del núcleo del reactor de investigación de la Universidad de Missouri (MURR), en los Estados Unidos de América. Este reactor produce radioisótopos que se utilizan en tratamientos contra el cáncer de hígado, páncreas, próstata y tiroides y que salvan vidas.

(Fotografía: Universidad de Missouri)

## Los neutrones salvan vidas

### Reactores de investigación para la producción de isótopos de uso médico y radiofármacos

Amirreza Jalilian y Mary Albon

Gracias a la producción eficiente de radioisótopos de uso médico y al desarrollo de nuevos radiofármacos se están logrando mejores diagnósticos y tratamientos más eficaces para muchos tipos de cáncer y otras enfermedades. Esto ha provocado que la demanda de radioisótopos, que se producen principalmente con reactores de investigación o aceleradores, siga creciendo y el número de radiofármacos en el uso clínico esté aumentando con rapidez.

**40** países tienen reactores de investigación capaces de producir radioisótopos; de ellos, unos **25** países producen de manera activa radioisótopos para aplicaciones médicas.

“Los radioisótopos de uso médico y los radiofármacos pueden salvar vidas cuando se preparan y administran correctamente”, señala Melissa Denecke, Directora de la División de Ciencias Físicas y Químicas del OIEA.

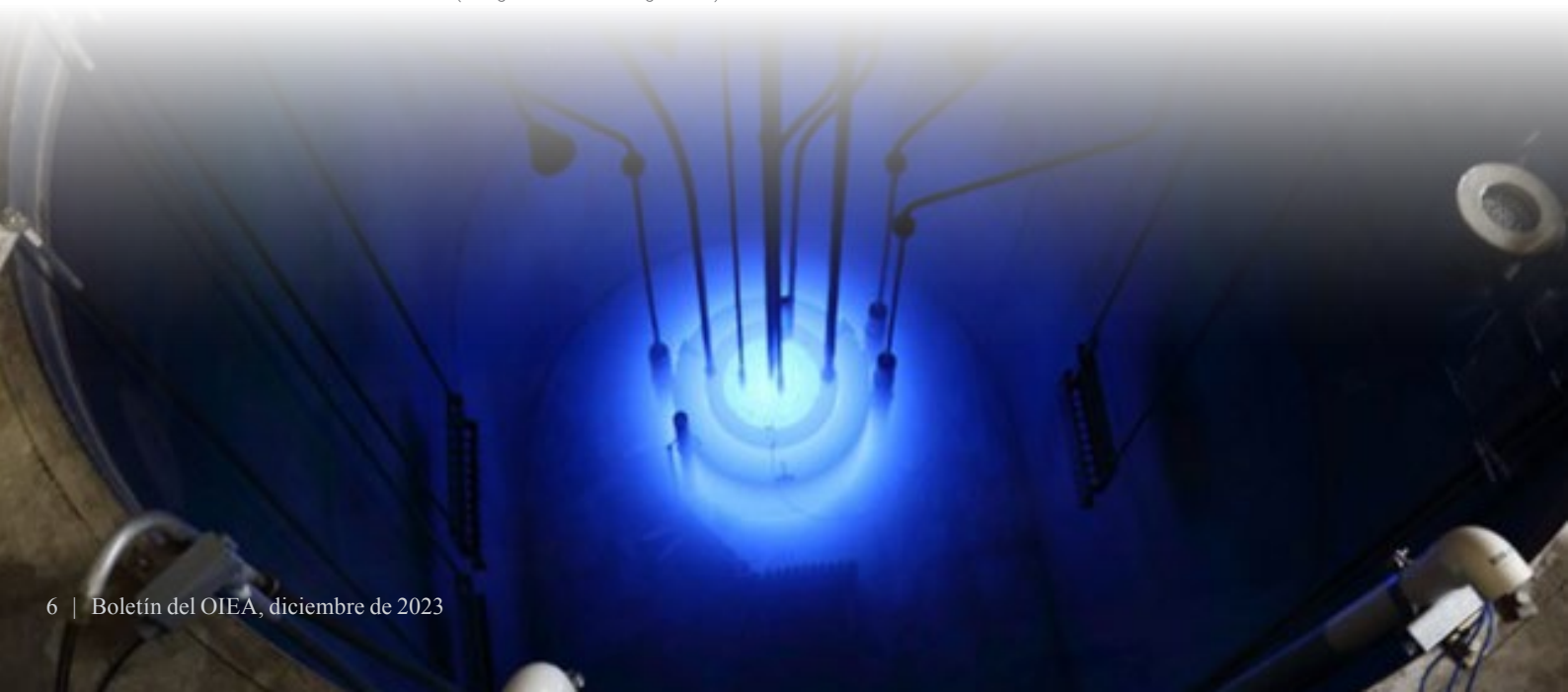
Los radioisótopos de uso médico son elementos radiactivos que, cuando se unen a moléculas específicas en formulaciones farmacéuticas, emiten radiación que puede rastrearse fácilmente, lo que los convierte en elementos útiles para el

Núcleo de un reactor de investigación irradia un blanco para la producción de radioisótopos de uso médico en el Reed College en los Estados Unidos de América. (Fotografía: D. McCullough/Flickr)

diagnóstico médico. También se pueden utilizar con fines terapéuticos, al dirigirse al tejido tumoral para tratar cánceres, como los de próstata, mama e intestino.

Los radiofármacos son medicamentos que combinan un radioisótopo de uso médico con una molécula con actividad biológica. Los radiofármacos diagnósticos que contienen radioisótopos que emiten radiación gamma pueden actuar sobre órganos, tejidos o células específicos. Se administran a los pacientes por vía inyectable, inhalatoria u oral para producir imágenes de los órganos o tejidos deseados mediante una cámara externa no invasiva que detecta los rayos gamma. Los radiofármacos de uso terapéutico contienen radioisótopos emisores de partículas que se acumulan en los tejidos diana para matar las células cancerosas.

Los reactores de investigación son la principal fuente de producción de radioisótopos de uso médico, como el molibdeno 99 (Mo 99), el yodo 131 (I 131) y el holmio 166 (Ho 166), entre otros. El I 131, que se utiliza para diagnosticar y tratar el cáncer de tiroides, fue uno de los primeros radioisótopos producidos en un reactor de investigación a principios de la década de 1940. Si bien se producen alrededor de 35 radioisótopos de uso médico, el Mo 99 representa la mayor parte de la producción. Se trata del isótopo padre del tecnecio 99m (Tc 99m), que se utiliza en aproximadamente el 85 % de los procedimientos de medicina nuclear de todo el mundo (se realizan hasta 50 millones de procedimientos de medicina nuclear al año) para el diagnóstico de cánceres y enfermedades de corazón, cerebro y huesos.





El lutecio 177 (Lu 177) es otro radioisótopo importante producido en reactores de investigación. “El Lu 177 es el pilar de la producción de radiofármacos de uso terapéutico empleados para tratar a personas con dolor óseo y cánceres de próstata, estómago e intestino, —explica Renata Mikołajczak, investigadora en el Centro de Radioisótopos POLATOM, del Centro Nacional de Investigaciones Nucleares de Polonia—. En todo el mundo se están desarrollando al menos 20 nuevos fármacos que utilizan Lu 177”.

En mayo de 2023 el OIEA puso en marcha un proyecto coordinado de investigación para desarrollar nuevos radiofármacos para el tratamiento del cáncer con Lu 177. “Los recientes avances en técnicas radioterapéuticas basadas en el Lu 177 han transformado el manejo terapéutico de tumores neuroendocrinos y cánceres de próstata, lo que ha redundado en mejores resultados para los pacientes, —señala Aruna Korde, científica del OIEA especializada en radiofármacos—. Sin embargo, aún no entendemos completamente el comportamiento biológico de los radiofármacos de uso terapéutico marcados con Lu 177”, agrega. El proyecto coordinado de investigación tiene por objeto detectar y abordar factores que pueden limitar la eficacia de estas técnicas radioterapéuticas. Con este proyecto se desarrollará y se llevará a cabo la evaluación preclínica de radiofármacos con Lu 177 a fin de evaluar su potencial para actuar sobre algunos de los cánceres más importantes. También proporcionará pautas para el radiomarcado y para la evaluación de la calidad, la seguridad y la eficacia de radiofármacos basados en el Lu 177.

## Producción de radioisótopos

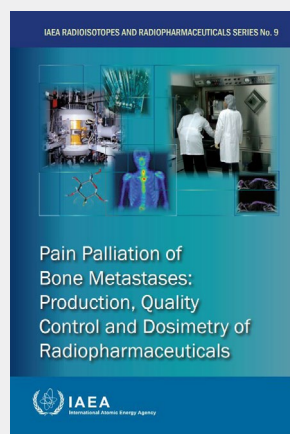
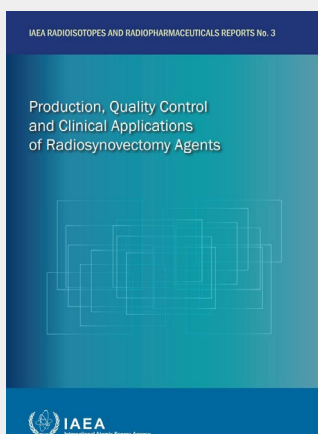
Cuarenta países tienen reactores de investigación capaces de producir radioisótopos; de ellos, unos 25 países producen de manera activa radioisótopos para aplicaciones médicas. En la mayoría de los casos, los radioisótopos se producen para el mercado nacional. Una cifra más reducida de países exporta radioisótopos al mercado regional o mundial y un número selecto de países los exporta en grandes cantidades. El OIEA

brinda conocimientos generales y especializados a países de todo el mundo sobre el modo de utilizar los reactores de investigación para desarrollar y fabricar estas herramientas cruciales para el diagnóstico y el tratamiento. Los reactores de investigación constituyen una fuente segura y estable de isótopos importantes para aplicaciones médicas, como los radiofármacos, pero también de fuentes de radioisótopos con fines terapéuticos, como la braquiterapia, y para la esterilización de dispositivos médicos.

La demanda sigue aumentando. “Aún queda un largo camino por recorrer para satisfacer la creciente demanda de radioisótopos producidos en reactores de investigación”, afirma Bernard Ponsard, Director de Proyectos de Radioisótopos en el Centro de Estudios de Energía Nuclear de Bélgica, conocido como SCK CEN.

El OIEA presta apoyo a los países en la producción de radioisótopos mediante reactores de investigación, no solo para usos médicos, sino también para fines industriales y de investigación y desarrollo. Para ello, elabora publicaciones de orientaciones, convoca reuniones técnicas para el intercambio de información y de conocimiento técnico, organiza proyectos coordinados de investigación en los que participan instituciones de investigación en múltiples países y promueve la creación de capacidad mediante actividades de capacitación, visitas científicas y becas. A través de su programa de cooperación técnica, el OIEA también presta apoyo a países de forma individualizada y promueve proyectos regionales e interregionales.

“El OIEA está creando y fomentando una comunidad de profesionales en todo el planeta capaces de producir radioisótopos y radiofármacos seguros y de alta calidad, —señala la Sra. Denecke—. Nuestro objetivo final es ayudar a incrementar la producción mundial de estas herramientas esenciales para la medicina nuclear y reducir las disparidades de acceso en algunas regiones, para que las personas vulnerables con cáncer y otras enfermedades potencialmente mortales puedan recibir la atención que necesitan”.

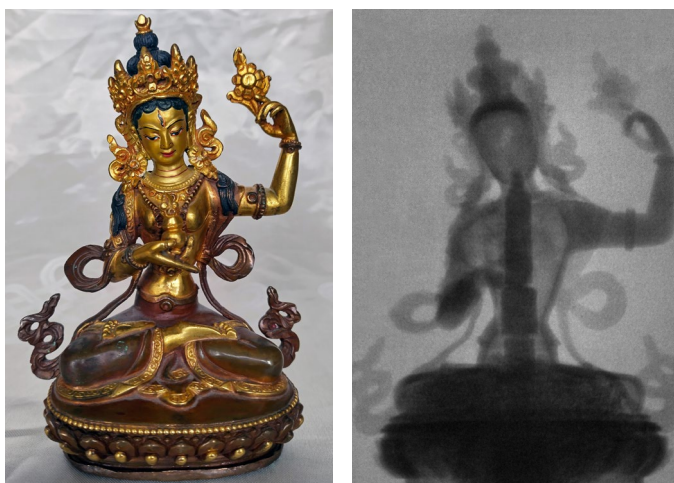


Dos publicaciones recientes del OIEA tratan de la producción y del uso clínico de radiofármacos para el tratamiento del dolor articular en personas que padecen de artritis reumatoide y hemofilia, así como para reducir el dolor asociado a metástasis óseas avanzadas. Estos tratamientos pueden mejorar la calidad de vida de las personas que sufren estas patologías.

# Los avances en imagenología neutrónica abren posibilidades para los reactores de investigación de baja potencia

Mary Albon

La imagenología neutrónica es una técnica no invasiva para examinar estructuras internas que se aplica utilizando reactores de investigación o fuentes neutrónicas basadas en aceleradores. “Es una herramienta asombrosa, con infinitas posibilidades para la investigación y el desarrollo científicos e industriales, así como para la criminalística y el estudio de artefactos culturales”, señala Molly-Kate Gavello, Oficial de Proyectos Asociada en el OIEA. La imagenología neutrónica se puede utilizar para probar motores, amortiguadores y aspas de turbinas. Puede mostrar cómo se desplaza el agua dentro de una planta viva o examinar el interior del cráneo de un dinosaurio fosilizado relleno de roca ferrosa.



El sistema de imagenología neutrónica de la Universidad Técnica Checa en Praga reveló un *axis mundi* (símbolo de la conexión entre los mundos físico y espiritual) dentro de una estatua de un bon tibetano de Chamma. (Fotografías: L. Sklenka/CTU)

Aunque la imagenología neutrónica se ha estado utilizando desde la década de 1950, las imágenes bidimensionales (2D) basadas en películas fueron el formato principal hasta la década de 1990. Gracias a la aparición de las tecnologías digitales, entre ellas las sofisticadas cámaras digitales, la imagenología neutrónica ahora utiliza la tomografía computarizada (TC), que emplea cientos de imágenes tomadas desde distintos ángulos para crear una imagen tridimensional (3D) muy detallada.

Hasta hace poco, debido a motivos tanto técnicos como económicos, la imagenología neutrónica con TC, o la imagenología en 3D, no era viable con fuentes neutrónicas de flujo bajo, como los reactores de investigación de baja potencia.

## Imágenes de alta calidad a baja potencia

Esto cambió en 2021, cuando Jana Matoušková, doctoranda en la Universidad Técnica Checa en Praga, y su supervisor, Lubomír Sklenka, demostraron la capacidad de obtener imágenes neutrónicas con TC a 500 vatios (W) de potencia de un reactor de investigación.

Este gran avance llegó tras dos innovaciones. En primer lugar, las cámaras de astronomía de bajo costo y alta calidad que llegaron al mercado durante el decenio anterior. Y, en segundo lugar, la presentación en 2016 de la primera miniinstalación para tomografía neutrónica, incluso para reactores de baja potencia, por investigadores en la Fuente de Neutrones de Investigación Heinz Maier-Leibnitz (FRM II), de la Universidad Técnica de Múnich (Alemania), que habían materializado el potencial de estas nuevas cámaras. Dirigido por Burkhard Schillinger, el grupo desarrolló y construyó un sistema de imagenología neutrónica de bajo costo y alta calidad con una cubierta protectora para el detector impresa en 3D y una versión reducida del *software* de control profesional que se emplea en la instalación de imagenología del Sistema Experimental Avanzado de Tomografía y Radiografía Neutrónicas (ANTARES) del reactor de investigación de la FRM II. La calidad de imagen de los nuevos detectores se correspondía con la del sistema de tecnología avanzada que se utiliza en la instalación de ANTARES.

La Sra. Matoušková quería probar la imagenología neutrónica con fuentes neutrónicas de baja potencia, como el reactor de capacitación VR-1 de 500 W de la Universidad Técnica Checa. A efectos comparativos, el reactor de la FRM II de 20 megavatios tiene una potencia 40 000 veces superior y, por lo tanto, produce un número de neutrones 40 000 veces mayor que el reactor de la Universidad Técnica Checa. Realizar esta tarea no le resultaría sencillo, puesto que no pudo acceder a las instalaciones de la Universidad Técnica Checa para realizar experimentos debido a las restricciones por la COVID-19.

El Sr. Sklenka contactó con el Sr. Schillinger para pedir asesoramiento sobre cómo replicar el sistema de bajo costo que había desarrollado la FRM II. El Sr. Schillinger, a su vez, asesoró a la Sra. Matoušková mediante videollamadas y le proporcionó información sobre el diseño del sistema y sobre dónde adquirir las piezas necesarias. Paso a paso, la doctoranda construyó un sistema de imagenología neutrónica en su propia casa y lo probó con luz visible.

En cuanto se eliminaron las restricciones por la COVID-19, la Sra. Matoušková instaló su sistema en el reactor de la Universidad Técnica Checa y generó con éxito la primera imagen bidimensional neutrónica digital, seguida

de una TC neutrónica con una exposición de 12 horas a 500 W. Esto significa que se pueden obtener resultados en menos de un día y con una potencia considerablemente inferior; los reactores de investigación en los que también se utiliza esta técnica tienen una potencia que va de cientos de kilovatios a decenas de megavatios.

La Sra. Matoušková se encuentra ahora perfeccionando el sistema de imagenología neutrónica de la Universidad Técnica Checa como parte de sus estudios de doctorado. El sistema se utiliza principalmente para fines educativos, pero también para llevar a cabo investigaciones como, por ejemplo, el análisis de artefactos culturales en colaboración con la Galería Nacional de Praga.

## Intercambio de tecnología y conocimientos especializados

La experiencia de la FRM II y de la Universidad Técnica Checa ha demostrado que se podría utilizar una miniinstalación en cualquier fuente neutrónica, incluso en reactores de investigación de muy baja potencia. El Sr. Schillinger declaró que su grupo está dispuesto a proporcionar de forma gratuita los planes de diseño y el *software* y ayudar con la instalación y la configuración en el ámbito internacional.

Gracias a las piezas creadas mediante una impresora 3D, al *software* reducido para poder utilizarse en una computadora portátil y a una disminución de los precios de las cámaras de astrofotografía, todo el paquete se puede ensamblar por menos de 5000 euros y se puede transportar con facilidad. En 2022, el Sr. Schillinger y Aaron Craft, investigador en el Laboratorio Nacional de Idaho en los Estados Unidos de América, dirigieron una misión de expertos del OIEA para instalar un sistema de imagenología neutrónica digital en

el reactor de investigación RECH-1 de la Comisión Chilena de Energía Nuclear. El Sr. Schillinger llevó los componentes en una maleta y el sistema se configuró en un lapso de dos días.

“El OIEA desempeña una función decisiva para poner esta tecnología al servicio de los reactores de investigación de baja potencia —indica el Sr. Schillinger—. Gracias a los nuevos detectores sensibles, se abre un nuevo campo de aplicación para estos reactores, que no proporcionan suficientes neutrones para experimentos complejos de dispersión neutrónica. La imagenología neutrónica los hace más accesibles para la enseñanza, la investigación y la colaboración con museos”.

El OIEA apoya la cooperación técnica con reactores de investigación, como las misiones de expertos y la adquisición de equipo. También publica guías sobre imagenología neutrónica, proporciona capacitación regional y está ampliando sus opciones de aprendizaje electrónico. También gracias al OIEA, en 2022 la Sra. Matoušková pudo pasar cuatro meses en el reactor de investigación RA-6 en la Argentina para ayudar a instalar y probar un sistema de imagenología neutrónica de bajo costo.

Un sistema dual de imagenología neutrónica y rayos X similar se ha instalado y puesto en servicio en la Instalación de Ciencia Neutrónica del OIEA en Seibersdorf (Austria), donde se está usando con fines de capacitación.



Lubomír Sklenka, Jana Matoušková y Burkhard Schillinger en la Universidad Técnica Checa, en la instalación del reactor de investigación de Praga.

(Fotografía: Technical University of Munich)

## ¿Qué es la imagenología neutrónica?

La imagenología neutrónica es un método no invasivo para examinar las estructuras internas y la composición de objetos opacos. Se basa en principios similares a los de la obtención de imágenes mediante rayos X. Sin embargo, contrariamente a los rayos X, que son absorbidos por materiales densos como los metales, los haces de neutrones atraviesan la mayoría de los metales y la roca y se atenúan por efecto de algunos elementos ligeros, como el boro, el carbono, el hidrógeno y el litio. Los neutrones también pueden ayudar a visualizar campos magnéticos, así como deformaciones en materiales tecnológicos y estructurales.

# Un nuevo servicio de examen por homólogos del OIEA ayuda a los países a maximizar la capacidad y la utilidad de los reactores de investigación

Emma Midgley

Los reactores de investigación son herramientas versátiles. Aunque no se utilizan para generar electricidad, algunos contribuyen al desarrollo de soluciones innovadoras de energía limpia y otros proporcionan radioisótopos que salvan vidas y revelan nuevos datos sobre el patrimonio cultural. Muchos reactores de investigación se usan a plena capacidad, pero algunos están infrautilizados. Para ayudar a los países a aprovechar todo el potencial de sus reactores de investigación de manera sostenible y eficaz, el OIEA ha puesto en marcha el Examen Integrado de la Utilización de Reactores de Investigación (IRRUR).

“Muchos reactores de investigación se construyeron en las décadas de 1950 y 1960 para hacer frente a una necesidad inmediata de ese momento. En la actualidad se entiende mejor el potencial de los reactores de investigación y se están desarrollando nuevas aplicaciones tanto para reactores nuevos como antiguos”, indica Nuno Pessoa Barradas, Especialista en Reactores de Investigación en el OIEA.

El primer IRRUR se llevó a cabo junto con una misión de Evaluación de la Explotación y el Mantenimiento de Reactores de Investigación (OMARR) en 2022 en el reactor de investigación de 5 megavatios (MW) de tipo piscina

RECH-1 en el Centro de Estudios Nucleares La Reina, en Santiago (Chile), tras una misión de examen piloto realizada en Italia en 2019. El grupo de expertos internacionales del IRRUR había traído consigo un abanico de bagajes científicos, directivos y operacionales relacionados con la utilización y las aplicaciones de los reactores de investigación.

“La ciencia y las tecnologías nucleares contribuyen a los objetivos nacionales de desarrollo en materia de salud, medio ambiente, recursos hídricos y agrícolas, energía, minería e industria, entre otros —afirma Luis Huerta, Director Ejecutivo de la Comisión Chilena de Energía Nuclear—. Estas misiones del OIEA, cuyo objetivo era realizar un examen exhaustivo del reactor nuclear chileno RECH-1, analizaron nuestras capacidades y competencias a fin de mejorar las tareas de operación y mantenimiento y ampliar el uso y las aplicaciones de nuestra instalación nuclear, sobre todo para nuevas iniciativas de investigación y desarrollo”.

Expertos de la Argentina, Bélgica, los Estados Unidos de América y el OIEA, así como un observador del Perú, participaron en la misión de cinco días de duración. El grupo encontró maneras de ampliar la utilización del reactor, como el establecimiento de alianzas con partes

Un grupo del OIEA y de expertos internacionales llevó a cabo en junio de 2023 una misión del Examen Integrado de la Utilización de Reactores de Investigación en el Laboratorio Nacional de Idaho. (Fotografía: INL)



interesadas en la producción de isótopos de uso médico con miras a prepararse para necesidades futuras. También recomendó a la instalación que elaborase una estrategia de divulgación para aumentar su comunidad de usuarios.

Desde la misión se ha instalado en el reactor chileno un sistema de imagenología neutrónica, con la ayuda del OIEA, lo cual abre nuevas líneas de investigación en el reactor. La imagenología neutrónica es una forma no destructiva de obtener imágenes de objetos, similar a la radiografía de rayos X. Se puede utilizar para examinar combustibles nucleares, componentes electrónicos y aspas de turbinas de motores, así como para caracterizar pilas de combustible y muestras geológicas.

### Apoyo a soluciones de energía limpia

La importancia de los reactores de investigación para la investigación y el desarrollo, incluida la investigación de materiales de fisión nuclear y de fusión nuclear, se constató en dos misiones IRRUR consecutivas en los Estados Unidos de América en 2023. Grupos internacionales de expertos visitaron el Laboratorio Nacional de Idaho (INL) y el Laboratorio del Reactor Nuclear del Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT).

El reactor de investigación del INL se utiliza fundamentalmente para la investigación en radiografía neutrónica y otras técnicas no destructivas, así como para irradiaciones neutrónicas, que exploran la manera en que el combustible nuclear y los materiales estructurales reaccionan a condiciones normales y extremas. El reactor del MIT lleva a cabo irradiaciones, que complementan la labor del INL y de otras instalaciones de investigación nuclear de los Estados Unidos, y apoya la investigación en el desarrollo de materiales tanto de fisión como de fusión nuclear.

La misión determinó que el INL podría mejorar algunas capacidades neutrónicas digitales para mejorar su investigación sobre soluciones innovadoras de la energía nuclear, mientras que el MIT podría sacar provecho de un diálogo más productivo con la comunidad mundial de la ciencia y la tecnología nucleares. Además, la misión recomendó al Laboratorio del Reactor Nuclear del MIT que revitalizara su infraestructura obsoleta, a fin de mejorar la utilización fiable del reactor y proporcionar un entorno más atractivo para usuarios externos, el alumnado y el personal.

Ron Crone, Director Adjunto de Laboratorio del Complejo de Materiales y Combustibles en el INL y miembro del grupo de la IRRUR en la misión enviada al MIT, señala que cree que el Laboratorio del Reactor Nuclear del MIT tiene potencial para convertirse en una instalación pionera en el mundo para la irradiación a medida de combustibles y materiales nucleares. “Con más inversión en infraestructura y más participación externa, creo que contribuirá a importantes investigaciones sobre soluciones energéticas innovadoras relacionadas con la fisión nuclear, así como con la fusión nuclear, durante los próximos decenios”, afirma.

Las misiones IRRUR se llevan a cabo previa petición y pueden abarcar todas las actividades de un reactor de investigación o bien restringirse a esferas específicas de la misión de la instalación. Los exámenes se basan en orientaciones del OIEA sobre la planificación estratégica para los reactores de investigación y su utilización, así como en prácticas óptimas internacionales.

En 2023 el OIEA publicó directrices sobre las misiones IRRUR, en las que se proporciona información sobre la preparación, la ejecución y la presentación de informes de las misiones IRRUR, además de información sobre autoevaluaciones para entidades explotadoras de instalaciones de reactores de investigación. En 2020, el OIEA también puso en marcha un curso de aprendizaje electrónico sobre planificación estratégica para mejorar la utilización de los reactores de investigación.

## Misiones IRRUR

**2019:** Italia (piloto)

**2022:** Chile, Perú, Sudáfrica

**2023:** EE. UU. (dos misiones),  
República Islámica del Irán

**2024:** Canadá (programada)

# Apoyo a científicos africanos para aprovechar las capacidades de los reactores de investigación para el desarrollo socioeconómico

Omar Yusuf

Los primeros yacimientos de uranio en África se descubrieron en 1915 en la aldea de Shinkolobwe, situada en el sur de la actual República Democrática del Congo. Aproximadamente cuatro decenios después, en 1958, comenzaría la historia de la ciencia y la tecnología nucleares de África, con la primera criticidad del reactor de investigación TRICO I de la República Democrática del Congo, el primer reactor de ese tipo construido en la región, en la Universidad de Kinshasa. Egipto y Sudáfrica siguieron el ejemplo de la República Democrática del Congo poco después, con la puesta en servicio de reactores en 1958 y 1965, respectivamente. Desde entonces, los reactores de investigación han desempeñado un papel fundamental en el desarrollo socioeconómico del continente.

En la actualidad África cuenta con **11** reactores de investigación en **8** países: Argelia, Egipto, Ghana, Libia, Marruecos, Nigeria, República Democrática del Congo y Sudáfrica.

En la actualidad África cuenta con 11 reactores de investigación en ocho países: Argelia, Egipto, Ghana, Libia, Marruecos, Nigeria, República Democrática del Congo y Sudáfrica. Estas instalaciones tienen una potencia térmica de hasta 22 megavatios y se utilizan de forma sistemática para numerosas aplicaciones, entre otras cosas para apoyar la gestión sostenible de la tierra entre agricultores africanos, producir radioisótopos que se emplean en tratamientos oncológicos que salvan vidas y en el sondeo de la integridad estructural de edificios y equipo industrial, y detectar fuentes de contaminación atmosférica industrial.

Aunque unos diez países africanos se están planteando la generación de energía nucleoelectrónica, muchos otros estudian el despliegue de reactores de investigación como un trampolín hacia futuros programas de energía, dado que posibilitará acumular un contingente de personal formado con capacidades pertinentes.

Algunos países que no tienen reactores de investigación —entre los que figuran Etiopía, Kenya, el Níger, la República Unida de Tanzania, Rwanda, el Senegal, Uganda y Zambia— están estudiando la posibilidad de construir instalaciones de

reactores de investigación, o están planeando construirlos, y ya han centrado su atención en aplicaciones y productos o servicios específicos para la ejecución.

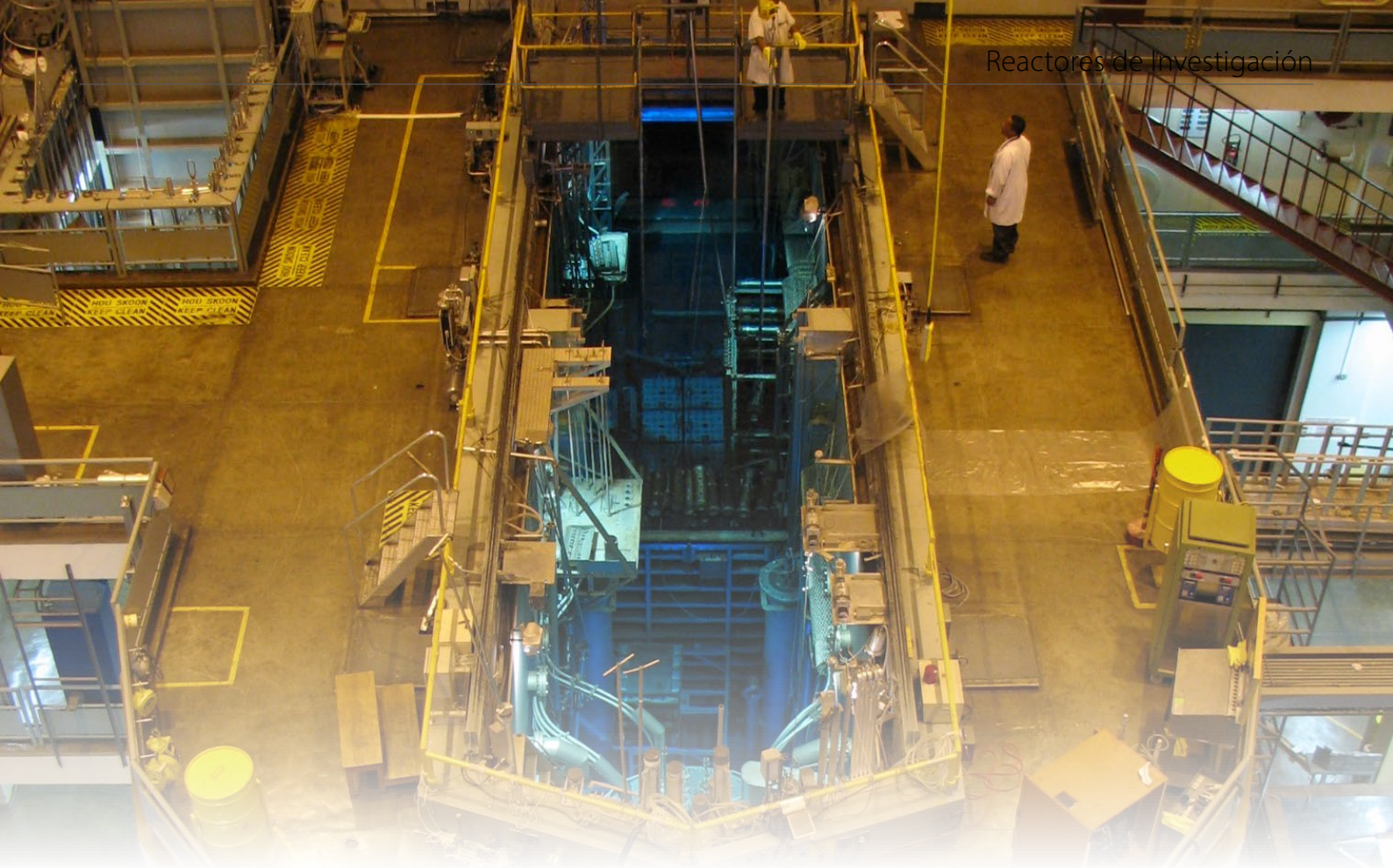
## Capacitación para la próxima generación de profesionales dedicados a los reactores de investigación

La necesidad de los servicios de radiación que prestan los reactores de investigación y, en consecuencia, de jóvenes profesionales capaces de prestarlos se ha intensificado durante los últimos años. A raíz de ello, el OIEA está prestando apoyo a países de África para la elaboración de planes estratégicos relacionados con la construcción y el uso de nuevos reactores de investigación.

Por ejemplo, a través de un proyecto regional de cooperación técnica (CT) en curso, expertos de varios países africanos asistieron a un taller del OIEA en junio de 2023 para aprender a preparar planes estratégicos para la construcción de nuevos reactores de investigación. Estos planes orientados al aspecto empresarial están concebidos para justificar la construcción de una instalación y ofrecer recomendaciones detalladas para el uso del reactor, incluidos servicios o productos de radiación específicos para uso industrial, médico y científico. Bajo la orientación de expertos del OIEA, se pidió posteriormente a los científicos participantes que propusieran los correspondientes planes financieros y de políticas para garantizar la seguridad y la sostenibilidad del reactor de investigación propuesto.

Durante el taller de capacitación de una semana de duración, especialistas del OIEA ofrecieron presentaciones y sesiones prácticas a científicos asistentes procedentes de Etiopía, Kenya, el Níger, la República Unida de Tanzania, Rwanda, el Senegal, Uganda y Zambia.

De forma complementaria, para apoyar la creación de capacidad en las esferas más estrechamente asociadas con la operación de los reactores de investigación, el OIEA lanzó la iniciativa de los Centros Internacionales basados en Reactores de Investigación designados por el OIEA (ICERR), un programa que señala instalaciones capaces de acoger las necesidades de capacitación e investigación de los países sin acceso habitual a reactores de investigación. En mayo de 2023, la tercera edición del Curso del OIEA sobre Reactores de Investigación en la Región de África se celebró en el ICERR reconocido más recientemente, el Centro Nacional de Energía, Ciencias y Tecnologías Nucleares (CNESTEN) de Marruecos, que opera el reactor de investigación MA-R1.



El reactor de investigación SAFARI-1 de Sudáfrica, que lleva en funcionamiento desde 1965, es uno de los cinco mayores productores del mundo del radioisótopo de uso médico **molibdeno 99**. (Fotografía: South African Nuclear Energy Corporation)

Diseñado para proporcionar capacitación intensiva en física de reactores, así como en la operación y utilización seguras de reactores de investigación, la tercera edición del Curso sobre Reactores de Investigación en la Región de África brindó a los 13 ingenieros y físicos asistentes la posibilidad de presenciar la operación en tiempo real de un reactor de investigación. Específicamente, los asistentes pudieron estudiar de qué manera los expertos en el CNESTEN producen radioisótopos de uso médico y realizan análisis por activación neutrónica. “El curso fue muy educativo, informativo, interesante y valioso”, afirmó Yahaya Musa, que trabaja en física médica en el Centro de Investigación y Capacitación sobre Energía, en Zaria (Nigeria). “Gracias al programa, conozco mejor cómo operan los reactores de investigación, he ampliado mis conocimientos sobre los experimentos que se realizan con ellos y he desarrollado mis destrezas en estas esferas”.

### Apoyo a la seguridad, la operación y la utilización de reactores

Si bien los países en fase de incorporación al ámbito nuclear procuran desarrollar nuevas instalaciones de reactores de investigación, los reactores existentes en el continente africano también podrían beneficiarse de una mejora de las normas sobre seguridad operacional, una planificación institucional más eficaz, y la asociación más estrecha de los servicios de los reactores de investigación con los persistentes desafíos de desarrollo nacional.

Este es el objetivo de otro proyecto de CT del OIEA en curso —canalizado a través del Acuerdo de Cooperación Regional en África para la Investigación, el Desarrollo y la Capacitación en materia de Ciencias y Tecnología Nucleares (AFRA)— que está priorizando la mejora de la seguridad y la operación estratégica del parque de reactores de investigación de África. Desde la preparación de documentos sobre seguridad hasta la ejecución de exámenes periódicos de la seguridad y arreglos sobre preparación para emergencias, las visitas científicas han ayudado a los países que participan en el proyecto, todos los cuales operan reactores de investigación en la actualidad, a determinar la mejor manera de mejorar su cumplimiento con respecto a las normas de seguridad del OIEA pertinentes y sus orientaciones en esta materia.

Científicos superiores de África también han visitado instituciones de reactores de investigación en Alemania, Francia, Jamaica, Malasia, los Países Bajos, la República Checa y Tailandia para observar y estudiar cómo sus contrapartes en el extranjero aplican las normas de seguridad del OIEA, las orientaciones sobre la gestión del envejecimiento y los programas de utilización en sus instalaciones. Estas visitas a emplazamientos y estos intercambios de conocimientos tienen por objetivo ampliar las capacidades regionales, mejorar la utilización de los reactores de investigación para el desarrollo socioeconómico y garantizar su seguridad operacional.

# Las redes de reactores de investigación optimizan las operaciones para satisfacer la creciente demanda

Melissa Evans

Los reactores nucleares de investigación son importantes centros científicos para la comunidad nuclear que acogen sesiones de capacitación y experimentos y proporcionan valiosos productos y servicios, como la producción de radioisótopos para uso médico, agrícola e industrial. La creciente demanda recae sobre más de 200 reactores de investigación en funcionamiento de todo el mundo y el OIEA está ayudando al personal de esta clase de reactores a satisfacer esta demanda mediante la creación de redes destinadas a fomentar la colaboración con el objetivo de optimizar las operaciones.

En 2023 se puso en marcha la Red Regional de Reactores de Investigación e Instituciones Conexas en América Latina y el Caribe (RIALC) con el apoyo del OIEA. La RIALC, que se constituyó a nivel regional a partir de dificultades regionales comunes, está conformada por nueve países con 16 reactores de investigación en funcionamiento. Al unir fuerzas, cada país saca provecho del conjunto de expertos y capacidades de los demás reactores de investigación de la red. Esto hace que cada instalación de reactores de investigación se centre en la esfera en la que cuenta con una ventaja competitiva y, a su vez, se garantiza una mejor atención de las demandas regionales y una mayor eficiencia de los servicios. La red evaluó su inventario de reactores de investigación para determinar prioridades nacionales y regionales, así como las especialidades de cada reactor. También se están llevando a cabo ejercicios de intercomparación para facilitar la normalización de futuras iniciativas.

“Todos los países acordaron trabajar de forma integrada y armonizada, como un solo bloque, en aras del desarrollo de la tecnología nuclear. El nivel de desarrollo alcanzado por los distintos países es muy diferente, pero este es precisamente el valor añadido que tiene la RIALC: mostrar los caminos ya recorridos en la región para que los países puedan mostrar las infraestructuras y los recursos que tienen a su disposición, — explica Mario Mallaupoma, Coordinador de la RIALC y Presidente del Instituto Peruano de Energía Nuclear—. La RIALC se fundó no solo a partir del deseo de los países de la región de apoyarse mutuamente, sino también para que los responsables de la toma de decisiones asumieran un verdadero compromiso para promover el logro de los objetivos de desarrollo sostenible en la región y mejorar la calidad de vida de la población”.

La RIALC ha estado trabajando en cinco áreas temáticas: la enseñanza y la capacitación; la operación y el envejecimiento; las aplicaciones de reactores como la geocronología; la imagenología neutrónica y el análisis por activación neutrónica, y la producción de radioisótopos.

Desde la puesta en marcha de la RIALC en febrero de 2023, la Comisión Chilena de Energía Nuclear ha recibido a expertos técnicos del Perú para estudiar el análisis por activación neutrónica: una aplicación de ensayos no destructivos para determinar la presencia de oligoelementos que suele realizarse en los reactores de investigación debido a sus capacidades de flujo neutrónico. El Sr. Mallaupoma señala que “el Perú tiene un reactor de investigación de 10 megavatios, que lo convierten en el de mayor potencia en la región y el que puede producir el mayor flujo neutrónico. El Perú promoverá y alentará una mayor utilización de nuestro reactor de investigación para el desarrollo de labores investigadoras, así como de acciones encaminadas a producir bienes y servicios conjuntamente con los demás países de la región de América Latina y el Caribe”.

En la sexagésima séptima reunión de la Conferencia General del OIEA, celebrada en septiembre de 2023, se puso en marcha un nuevo curso de aprendizaje electrónico en español, Planificación Estratégica para Instituciones Nucleares Nacionales, que complementa el curso en inglés sobre el mismo tema. El curso se ha adaptado a la región de América Latina y el Caribe, concretamente con dos estudios de caso en profundidad proporcionados por los representantes de la RIALC de la Argentina y Chile. Está basado en la publicación del OIEA de 2017 titulada *Strategic Planning for Research Reactors (Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NG-T-3.16)* y se centra en la gestión operacional de los reactores de investigación. Los participantes del curso aprenden a priorizar las demandas de distintos tipos de servicios para garantizar la eficacia y la sostenibilidad de los reactores de investigación. Esto se basa en la historia del OIEA de prestar apoyo a los reactores de investigación en actividades de planificación estratégica. Desde 2014, el OIEA ha prestado asesoramiento de expertos en 95 planes estratégicos asociados con 63 reactores, en respuesta a solicitudes de los países.

La red RIALC sigue los pasos de redes de reactores de investigación anteriores que se han fundado con el apoyo del OIEA y que comprenden tanto redes regionales como





En las instalaciones del reactor de investigación de la Universidad Técnica de Viena, la Iniciativa sobre Reactores de Investigación de Europa Oriental imparte cursos de capacitación para ayudar al alumnado a desarrollar destrezas prácticas. (Fotografía: OIEA)

técnicas. La Iniciativa sobre Reactores de Investigación de Europa Oriental (EERRI) se constituyó en 2008. De forma similar a la RIALC, pretende fortalecer las labores regionales de capacitación, así como optimizar los servicios. Está conformada por siete países —Austria, Eslovenia, Hungría, Polonia, República Checa, Rumania y Serbia— y las instituciones participantes organizan sus actividades. La EERRI ha celebrado 18 ediciones de un curso de capacitación de seis semanas de duración, respaldado por el OIEA, para jóvenes profesionales en el ámbito nuclear. Este curso incluye conferencias técnicas, visitas a emplazamientos y ejercicios prácticos en instalaciones de reactores de investigación de la EERRI a fin de preparar a la próxima generación de personal de reactores de investigación.

El intercambio de conocimientos técnicos especializados conforma la base de otra red de reactores de investigación que cuenta con el apoyo del OIEA: la Red Mundial de Reactores de Investigación TRIGA (GTRRN). Todos los reactores TRIGA (por sus siglas en inglés: *Training, Research, Isotopes, General Atomics*) están diseñados y funcionan de forma similar y actualmente hay más de 30 en

funcionamiento en todo el mundo. La GTRRN se puso en marcha en noviembre de 2013 para ayudar a operadores de reactores de investigación TRIGA en 15 países a abordar dificultades comunes, como el combustible de uranio poco enriquecido de los reactores TRIGA, que es cada vez más difícil de obtener y de someter a disposición final tras su uso. “La GTRRN es un destacado recurso sobre los reactores de investigación TRIGA y sus miembros la utilizan para intercambiar información y ayudarse entre sí; por ejemplo, para adquirir piezas de repuesto necesarias para experimentos, dado que a veces puede ser complicado encontrar posibles proveedores”, señala Nuno Pessoa Barradas, especialista en reactores de investigación en el OIEA.

El OIEA ayuda a los países a mejorar los servicios de los reactores de investigación. Dado que estos últimos son instituciones científicas únicas, las redes a medida respaldadas por el OIEA crean una plataforma para expertos en reactores de investigación de todo el mundo que tiene por objetivo subsanar dificultades comunes y aprovechar todo el potencial de sus instituciones mediante la colaboración.

# Mantener en funcionamiento los reactores de investigación del planeta en fase de envejecimiento

Emma Midgley

Hay más de 220 reactores de investigación en funcionamiento que prestan servicios esenciales, como la producción de radioisótopos de uso médico, y permiten la investigación científica en la agricultura y la industria. Sin embargo, estas instalaciones están envejeciendo: la mayoría de los reactores del parque mundial de reactores de investigación lleva en funcionamiento más de 50 años. Los operadores y reguladores, con la ayuda del OIEA, están centrados en renovar y modernizar estos reactores para que puedan seguir proporcionando bienes y servicios y, a su vez, continúen operando de forma tecnológica y físicamente segura.

“En muchos países no hay sustitutos para estos reactores de investigación más antiguos, ni tampoco planes de instalar nuevos, —señala Ruben Mazzi, Jefe Técnico de Explotación y Mantenimiento de los Reactores Nucleares en el OIEA—. Ayudamos a los países a tomar medidas para mantener estos reactores en funcionamiento. Cada reactor es diferente y envejece de forma distinta. Los recursos y los servicios que ofrece el OIEA para prestar apoyo al parque mundial son importantes para la gestión del envejecimiento”.

El OIEA inició su Plan de Mejora de la Seguridad de los Reactores de Investigación en 2001, previendo el creciente

**Durante una misión de Evaluación de la Explotación y el Mantenimiento de Reactores de Investigación en el reactor de investigación MARIA realizada en Polonia en 2022, expertos analizaron los sistemas de garantía y gestión de la calidad, las prácticas de explotación y mantenimiento y el programa de gestión del envejecimiento.**

(Fotografía: Centro Nacional de Investigaciones Nucleares de Polonia)

envejecimiento del parque de reactores de investigación. Este plan tiene por objetivo ayudar a los países a garantizar un alto nivel de seguridad de los reactores de investigación e 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 y reglamentos en materia de seguridad de los reactores de investigación. Como parte del plan, los países están trabajando con el apoyo del OIEA para ejecutar programas sistemáticos de gestión del envejecimiento.

El OIEA ha desarrollado actividades complementarias para ayudar a los países a gestionar sus reactores de investigación en fase de envejecimiento. Para ello ha formulado y sigue actualizando normas de seguridad y directrices técnicas, al tiempo que presta servicios de examen por homólogos y de asesoramiento y organiza reuniones técnicas, talleres y cursos de capacitación.

El OIEA adaptó la metodología de Aspectos de Seguridad de la Explotación a Largo Plazo (SALTO) para que las centrales nucleares la aplicaran a los reactores de investigación y en 2017 finalizó la primera misión SALTO a un reactor de





La exploración visual y los ensayos no destructivos se utilizan para evaluar la seguridad y las condiciones operacionales de las estructuras, los sistemas y los componentes de la instalación de un reactor, incluidos el soporte y la rejilla del núcleo.

(Fotografías: R. Mazzi/OIEA)

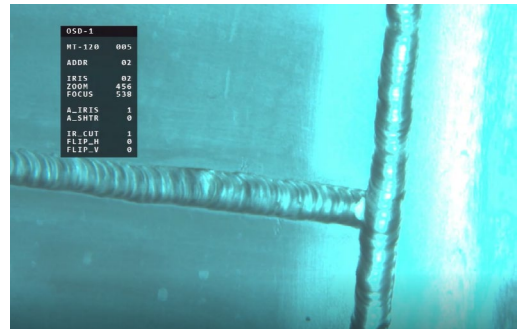
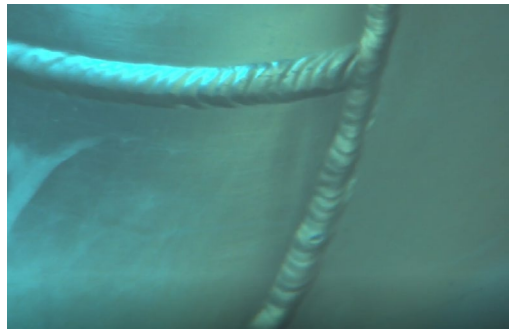
investigación, en el Reactor Belga 2 (BR2), en Bélgica. Las misiones SALTO evalúan los procedimientos y prácticas de las instalaciones a partir de las normas de seguridad del OIEA, y formulan recomendaciones para seguir mejorando la seguridad y la eficacia de los proyectos de modernización y renovación de esas instalaciones. “Además de afectar a los sistemas y componentes, la renovación y la modernización también se aplican a la realización de mejoras de seguridad, con el fin de adaptar la instalación del reactor a las normas de seguridad actualizadas del OIEA”, indica Amgad Shokr, Jefe de la Sección de Seguridad de los Reactores de Investigación del OIEA.

Es necesario realizar un examen periódico de las estructuras, los sistemas y los componentes de una instalación para determinar su posible degradación, a fin de evaluar los efectos del envejecimiento sobre la seguridad y la operación, o para evitar reparaciones costosas. Las entidades explotadoras llevan a cabo programas sistemáticos de mantenimiento y de ensayos periódicos para garantizar que las estructuras, los sistemas y los componentes sigan estando en condiciones de cumplir las funciones previstas y para asegurarse de que el reactor funcione dentro de los límites y las condiciones operacionales. En algunos casos, estos exámenes exigen técnicas especiales y recursos adicionales que tal vez no estén a disposición de todas las entidades explotadoras.



Para inspeccionar y monitorizar las soldaduras de los tanques de los reactores de investigación se utilizan cámaras subacuáticas de alta definición resistentes a las radiaciones.

(Fotografías: R. Mazzi/OIEA)



El OIEA, previa solicitud, presta apoyo a los países proporcionándoles el equipo o el asesoramiento de expertos necesario para que el operador pueda realizar actividades de inspección específicas mediante inspecciones en servicio. Estas permiten evaluar el estado de los componentes que son importantes para la seguridad y el funcionamiento de los reactores. Mediante equipo especializado se pueden monitorizar defectos estructurales y daños en la infraestructura física de un reactor. Con estos exámenes, mediante el uso de cámaras subacuáticas resistentes a la radiación y otras herramientas especializadas, se detectan grietas y otros defectos o deficiencias en las estructuras en una fase temprana y, con el tiempo, en las partes de hormigón y de metal de un reactor.

El OIEA prevé lanzar en 2024 una nueva publicación titulada provisionalmente *Guidelines for Non-Destructive Examination, In-Service Inspection and On-Line Monitoring Programme for Research Reactors*.

### Fortalecer la sostenibilidad

Otra misión de examen por homólogos que presta apoyo a los países en la labor de gestionar el envejecimiento de los reactores es la Evaluación de la Explotación y el Mantenimiento de Reactores de Investigación (OMARR). Estas misiones se centran en los aspectos operacionales y de mantenimiento que deben abordarse durante la vida útil de los reactores de investigación, desde la puesta en servicio hasta la clausura. Mediante estas misiones, los países pueden fortalecer la sostenibilidad y fiabilidad de los reactores de investigación y optimizar la utilización de los recursos humanos y

financieros, teniendo en cuenta normas del OIEA, buenas prácticas internacionales y reglamentos nacionales.

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. Desde 2012 se han finalizado o hay en curso misiones OMARR y pre-OMARR en Bangladesh, Chile, los Estados Unidos de América, Indonesia, Italia, Polonia, Portugal, la República Democrática del Congo, la República Islámica del Irán, Tailandia y Uzbekistán.

Sammy Malaka, Director General de Operaciones de Reactores en la South African Nuclear Energy Corporation, participó como experto en la misión pre-OMARR de 2018 y en la misión de inspección en servicio de 2023 en el reactor de investigación TRICO II de la República Democrática del Congo. Este reactor lleva en régimen de parada prolongada desde 2004 y ahora hay planes para volver a ponerlo en marcha y reanudar sus actividades con fines de investigación científica, capacitación, producción de radioisótopos y caracterización de materiales.

“Gracias al éxito de ambas misiones, la instalación TRICO II podrá determinar las estructuras, los sistemas y los componentes mínimos con los que apoyar el programa para la nueva puesta en marcha del reactor y su operación a largo plazo”, afirma el Sr. Malaka. “En particular, hemos hecho hincapié en la importancia de iniciar un programa de gestión del envejecimiento para gestionar las estructuras, los sistemas y los componentes en fase de envejecimiento y hacer

## ¿Qué es el envejecimiento de los reactores de investigación?

En los reactores de investigación, el envejecimiento puede ser de dos tipos:

el **envejecimiento físico**, es decir, la degradación del estado físico de los sistemas y componentes del reactor. Con el paso del tiempo, la exposición a entornos agresivos y a las condiciones operacionales —como la irradiación, los agentes corrosivos y la vibración— degrada algunos de los materiales y componentes;

la **obsolescencia**, que es otro tipo de envejecimiento en el que la tecnología empleada para las computadoras, la instrumentación y los sistemas de control queda anticuada o los reglamentos de seguridad cambian y se vuelven obsoletos.

un seguimiento y una monitorización de los proyectos de mejora, modernización o sustitución, dado que esto puede ser beneficioso para la instalación a largo plazo tras un exitoso programa de nueva puesta en marcha”.

En mayo de 2023 se llevó a cabo una misión OMARR apoyada por expertos de Australia y la República Checa en el reactor de investigación 1 de Tailandia/Modificación 1 (TRR-1/M1), en Tailandia, que se utiliza para la producción de radioisótopos y para actividades de investigación, desarrollo, enseñanza y capacitación. “Las sugerencias de la misión

OMARR fueron de gran ayuda para instaurar y ejecutar programas sistemáticos y eficaces de mantenimiento y gestión del envejecimiento del TRR-1/M1, a fin de mejorar la operación y la utilización eficaz del reactor, —indica Kanokrat Tiyaapun, Directora de Reactores en el Instituto de Tecnología Nuclear de Tailandia—. Esto es primordial para el desarrollo sostenible de la capacidad nuclear —conocimientos tecnológicos especializados y recursos humanos— y de la infraestructura necesaria para los futuros programas nucleares en Tailandia”

## Misiones de examen y servicios de asesoramiento

El OIEA ofrece más de 30 servicios de examen por homólogos y de asesoramiento para ayudar a los países a fortalecer y mejorar sus prácticas relacionadas con la energía nuclear. El OIEA dirige los exámenes por homólogos, que se organizan previa solicitud y están respaldados por grupos de expertos internacionales. Con ellos se evalúa la infraestructura nacional y las prácticas actuales del país teniendo en cuenta orientaciones del OIEA, normas de seguridad y buenas prácticas internacionales. Estos servicios, que a menudo se conocen como “misiones”, se centran en un abanico de especialidades que van desde la seguridad nuclear hasta el sector sanitario.

El OIEA ofrece varias misiones de examen por homólogos para prestar asistencia a los países en el uso tecnológica y físicamente seguro, fiable y sostenible de sus reactores de investigación. Los exámenes por homólogos del OIEA específicos para reactores de investigación son el Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear para Reactores de Investigación (INIR-RR), el Examen Integrado de la Utilización de Reactores de Investigación (IRRUR), 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). El Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS) relacionado con la seguridad física nuclear y los Aspectos de Seguridad de la Explotación a Largo Plazo (SALTO) se ocupan de los reactores de investigación, así como de las centrales nucleares.

Expertos del grupo de la misión del OIEA y personal del Centro de Investigación de Řež (CVŘ) analizan recomendaciones del examen de la Evaluación Integrada de la Seguridad de Reactores de Investigación en la sala de control del reactor de investigación LVR-15 en Řež (República Checa) en 2023.

(Fotografía: CVŘ)



# Planificación de recursos humanos para programas de reactores de investigación

Sara Kouchehbagh

En los países que están considerando la posibilidad de implantar o ampliar un programa de reactores de investigación, el desarrollo de una estrategia de gestión de recursos humanos suele ser una tarea imprescindible antes de embarcarse en una inversión de esa magnitud. El OIEA presta apoyo a los países acerca de la gestión de los recursos humanos mediante instrumentos de elaboración de modelos, recursos educativos, publicaciones y servicios de examen por homólogos.

En la industria nuclear se precisa un alto nivel de calidad en cuanto a la planificación de recursos humanos —también para los programas de reactores de investigación— y se depende de una fuerza de trabajo bien capacitada a efectos de seguridad y sostenibilidad. Esa fuerza de trabajo se enfrenta a varios desafíos, como la jubilación del personal cualificado y problemas relacionados con la retención del talento. Los países y las organizaciones deben reconocer la importancia de establecer y aplicar una estrategia de gestión de recursos humanos a fin de aumentar el número de personal cualificado a largo plazo, y de retenerlo.

“La gestión de los recursos humanos es el pilar del éxito del desarrollo de proyectos”, afirma Cheikh Niane, Coordinador Técnico del primer proyecto de reactor de investigación del Senegal y Secretario General del Ministerio de Petróleo y Energía. “Deberíamos definir cuál es el estado de nuestra fuerza de trabajo con miras a sustentar un programa nuclear en el país y cuál debería ser nuestra cantera a efectos de contratación de personal”.

El Senegal es uno de los países que están planificando su primer reactor de investigación. En diciembre de 2022 se puso a prueba en el Senegal un nuevo servicio de capacitación del OIEA centrado en el Instrumento del OIEA de Elaboración de Modelos sobre Recursos Humanos para Nuevos Programas de Reactores de Investigación, que se ha desarrollado utilizando como base el Instrumento de Elaboración de Modelos sobre Recursos Humanos para Energía Nucleoeléctrica (NPHR), proporcionado al OIEA por los Estados Unidos de América en 2011. Cuando los países planifican el inicio de un programa nucleoelectrico, el NPHR les ayuda a entender sus necesidades de plantilla y el flujo de recursos humanos.

Gracias al nuevo instrumento para programas de reactores de investigación, los países pueden comprender mejor los requisitos en cuanto a recursos humanos y la necesidad de contar con una fuerza de trabajo nacional coherente en este ámbito. El taller que tuvo lugar en el Senegal incluyó una demostración del modelo sobre recursos humanos,

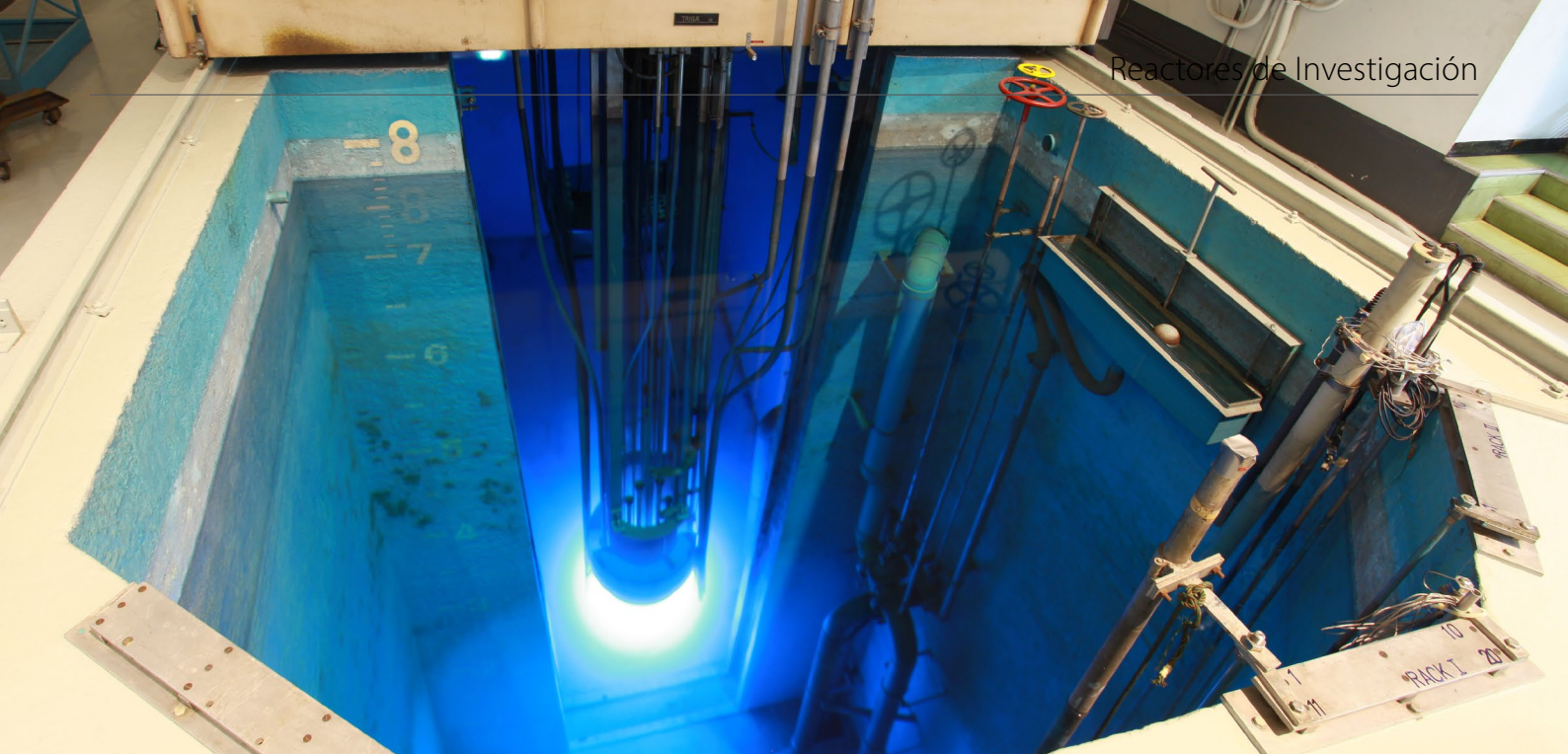
la instalación y configuración del instrumento en las computadoras de los participantes, y capacitación sobre destrezas básicas en el uso de modelos dinámicos y ejercicios. En él también se abordaron buenas prácticas relativas a la planificación de los recursos humanos, la seguridad y la gestión de datos sobre recursos humanos.

En abril de 2023 se celebró una sesión de capacitación similar en Tailandia —que tiene un reactor de investigación en funcionamiento y dos en fase de planificación— para informar al personal sobre el uso del instrumento de elaboración de modelos y proporcionar retroinformación sobre el plan de recursos humanos del país. Además, en la sesión se facilitó información sobre orientaciones y la colaboración del OIEA con respecto a la mejor manera de adaptar el instrumento de elaboración de modelos de NPHR para reactores de investigación en el futuro.

“El desarrollo de recursos humanos es un componente importante del desarrollo de infraestructura para un nuevo reactor de investigación, según el enfoque de los hitos del OIEA”, señala Kanokrat Tiyaapun, Directora de Reactores en el Instituto de Tecnología Nuclear de Tailandia. “Los resultados del modelo se utilizarán como documento de apoyo para informar a los responsables de la toma de decisiones sobre las necesidades de recursos humanos, la competencia y la capacidad del país a fin de satisfacer los requisitos de un nuevo programa de reactores de investigación”.

## Más recursos para el personal

El OIEA también ofrece material educativo gratuito en línea sobre el desarrollo de los recursos humanos que incluye módulos y publicaciones en línea. Una reciente publicación titulada *Managing Human Resources in the Field of Nuclear Energy (Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NG-G-2.1 (Rev. 1))* proporciona orientaciones para responsables de la toma de decisiones y directivos superiores encargados del desarrollo de personal competente y sostenible. La publicación abarca elementos clave de la gestión de recursos humanos —como la planificación, la capacitación y el desarrollo de los recursos humanos, y la gestión del desempeño— que deben integrarse en la estrategia de gestión de un país. En la publicación se presentan marcadores claros relativos a la gestión eficaz de los recursos humanos, que pueden ser idóneos para directivos superiores, profesionales de recursos humanos y supervisores directos. La publicación también es útil para los países en fase de incorporación al ámbito nuclear, así como quienes tratan de optimizar su programa nuclear actual.



El TRR-1/M1 es un reactor de investigación TRIGA Mark III operado por el Instituto de Tecnología Nuclear de Tailandia en Bangkok (Tailandia). (Fotografía: Instituto de Tecnología Nuclear de Tailandia)

Además de los materiales de fácil acceso, el enfoque de los hitos del OIEA ha ayudado a los países en fase de incorporación a desarrollar sus programas nucleoelectrónicos con un enfoque gradual que puede aplicarse a los programas de reactores de investigación. Cuando un país decide apostar por el desarrollo de un reactor de investigación mediante el enfoque de los hitos, empieza con la presentación de justificaciones de los motivos por los que el reactor de investigación es necesario, justificaciones que, en última instancia, llevan al país a construir y poner en servicio el nuevo reactor, siempre que se cumplan todos los requisitos que se plantean durante el proceso.

El desarrollo de recursos humanos es uno de los 19 elementos de infraestructura —entre los que también figuran el desarrollo de un órgano regulador y un marco jurídico y la labor de garantizar la seguridad nuclear tecnológica y física— que

forman parte del enfoque de los hitos. Este tema se puede abordar mediante una misión de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear para Reactores de Investigación (INIR-RR), que ayuda a los países a determinar la situación de su infraestructura nuclear nacional, así como otras necesidades de desarrollo para respaldar el proyecto, pasando por todas las fases, desde la planificación hasta la clausura.

“La disponibilidad de recursos humanos adecuados es clave para cualquier proyecto”, manifiesta Petr Chakrov, Jefe de la Sección de Reactores de Investigación del OIEA. “El desarrollo de estos recursos es un proceso complejo y dinámico, y nuestro nuevo instrumento de elaboración de modelos ayuda a los países a planificar los recursos humanos para sus programas de reactores de investigación de una forma más exhaustiva y realista”.

## Apoyo a las mujeres en el ámbito nuclear

En 2020, el OIEA puso en marcha el Programa de Becas Marie Skłodowska-Curie (MSCFP) con el objetivo de apoyar a la próxima generación de mujeres profesionales del ámbito nuclear ofreciéndoles becas para estudios de maestría en esferas relacionadas con la energía nuclear. Una nueva iniciativa del OIEA puesta en marcha en marzo de 2023, el Programa Lise Meitner, ofrece a mujeres que se encuentran al principio o en mitad de su carrera profesional visitas de capacitación, de varias semanas de duración, a instalaciones nucleares.

The IAEA

**Marie Skłodowska-Curie**  
FELLOWSHIP PROGRAMME

The IAEA

**Lise Meitner**  
PROGRAMME

## Rápido y eficaz

### Un nuevo enfoque para actualizar las guías de seguridad del OIEA

Wolfgang Picot

Los reactores de investigación son esenciales para el avance de las ciencias nucleares, la realización de experimentos y la producción de isótopos fundamentales para fines médicos y de otro tipo. Las guías de seguridad del OIEA sobre reactores de investigación desempeñan un papel indispensable para garantizar la seguridad de estas instalaciones. Las *Guías de Seguridad* son uno de los tres conjuntos de publicaciones que integran la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA*. La colección consiste en:

1. las *Nociones Fundamentales de Seguridad*, que establecen, en un lenguaje comprensible para los lectores no expertos, los objetivos fundamentales de la seguridad y los principios de la protección y la seguridad;
2. los *Requisitos de Seguridad Generales* (GSR) y los *Requisitos de Seguridad Específicos* (SSR), que establecen las condiciones que deben cumplirse para garantizar la protección de las personas y el medio ambiente, tanto ahora como en el futuro, y ayudar a los países a establecer sus marcos reguladores nacionales, y
3. las *Guías de Seguridad Generales* (GSG) y *Guías de Seguridad Específicas* (SSG), que presentan buenas prácticas internacionales y reflejan cada vez más las mejores prácticas, y ofrecen recomendaciones y orientaciones sobre cómo cumplir los SSR.

Debido a la naturaleza sumamente técnica de las guías de seguridad, su actualización es un proceso meticuloso. Los conocimientos se recopilan e integran en las guías a partir de diversas experiencias de uso de las tecnologías nucleares en todo el mundo. Los borradores elaborados por el OIEA son revisados por múltiples comités de normas de seguridad. Asimismo, se comparten con los países participantes para que puedan formular observaciones y otras aportaciones antes de ser aprobados por la Comisión sobre Normas de Seguridad.

Normalmente, estas revisiones se prolongan durante varios años debido a su complejidad y a la necesidad de estudiar detenidamente los avances en la investigación nuclear y radiológica, el desarrollo y las prácticas de seguridad.

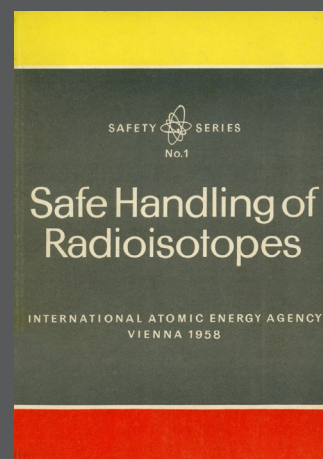
Sin embargo, en la última actualización de 11 Guías de Seguridad sobre reactores de investigación el OIEA adoptó un nuevo enfoque. Al actualizarlas simultáneamente, el Organismo aceleró el proceso y se completó el ciclo de publicación en 12 meses comprendidos entre 2022 y 2023.

“La revisión conjunta de todas las guías de seguridad sobre reactores de investigación mediante un proceso específico permitió a los países participantes armonizar mucho más fácilmente el examen del contenido de las normas de seguridad y formular observaciones oportunamente”, declara David Sears, Oficial Superior de Seguridad Nuclear del OIEA, quien dirigió el proyecto.

## 65 AÑOS de las NORMAS DE SEGURIDAD DEL OIEA

Las normas de seguridad del OIEA tienen una historia de larga data, empezando por *Safe Handling of Radioisotopes* (*Colección Seguridad del OIEA N° 1*), que se publicó en 1958, solo un año después de la creación del Organismo. Además, fue **la primera publicación del OIEA**.

Hoy en día, la mayoría de los usuarios acceden a la *Colección de Normas de Seguridad del OIEA* a través del sitio web del OIEA, donde puede consultarse de forma gratuita





Finalizar un proyecto tan complejo en un plazo breve representa un logro significativo. “Dada la brevedad del marco cronológico, este proyecto exigió una estrecha cooperación dentro del OIEA, una intensa atención y una concentración de esfuerzos por parte de los expertos, los representantes de los países y los editores técnicos del OIEA, —declara el Sr. Sears—. Esto no habría sido posible sin el compromiso y la dedicación de todas las personas involucradas”.

La publicación de los SSR sobre reactores de investigación titulada *Seguridad de los reactores de investigación (Colección de Normas de Seguridad del OIEA N° SSR-3)*, se actualizó en 2016. Abarca todos los requisitos para la explotación segura de los reactores de investigación, desde la gestión y la supervisión reglamentaria hasta la evaluación del emplazamiento, el diseño, la construcción, el funcionamiento, la utilización, la modificación y la clausura. Además, incorpora las enseñanzas pertinentes extraídas del accidente nuclear de Fukushima Daiichi, así como experiencias y comentarios de los países.

La última actualización ha afectado a las 11 SSG, que proporcionan orientación y presentan las mejores prácticas sobre cómo cumplir los requisitos de la publicación SSR-3. A diferencia de la SSR-3, que ofrece una visión general de todas las cuestiones pertinentes en un solo volumen, las SSG tratan temas técnicos específicos como el mantenimiento, los ensayos e inspecciones periódicas, la gestión del núcleo y la manipulación del combustible,

los límites y condiciones operacionales, el control de la instrumentación y la gestión del envejecimiento.

“Actualizar las normas de seguridad de los reactores de investigación es bastante difícil debido a su gran diversidad —explica Onne Wouters, Director del Reactor de Alto Flujo (HFR) del Grupo de Investigación Nuclear y Consultoría (NRG) de los Países Bajos—. Las guías de seguridad del OIEA son importantes para todas las instalaciones, desde los conjuntos críticos más pequeños hasta los grandes reactores de investigación como el HFR”.

Muchos reactores de investigación se han mejorado con equipos electrónicos y otros se están modificando con miras a nuevas aplicaciones, lo que permite ampliar sus fines previstos. Teniendo en cuenta que muchos reactores de investigación tienen varios decenios de antigüedad, la gestión del envejecimiento también es cada vez más importante. “Con las nuevas tecnologías electrónicas y el envejecimiento de los reactores tenemos que mejorar y adaptarnos continuamente —afirma el Sr. Wouters—. Es esencial que las guías de seguridad sigan reflejando estos cambios”.

Las normas de seguridad del OIEA no son jurídicamente vinculantes para los países, que las aplican a discreción. Muchos países que utilizan estas normas las adoptan en sus reglamentos nacionales.



El OIEA ha actualizado recientemente **11 guías de seguridad** sobre reactores de investigación

# Protección de los reactores de investigación de Egipto contra las amenazas a la seguridad física nuclear

Vasiliki Tafili

La aplicación de medidas de seguridad física nuclear en todo tipo de instalaciones nucleares, incluidos los reactores de investigación, garantiza la protección contra actos dolosos y otros actos delictivos o intencionados no autorizados que puedan tener consecuencias radiológicas o dar lugar a otras situaciones adversas. El Servicio Internacional de Asesoramiento sobre Protección Física (IPPAS) del OIEA presta asesoramiento por homólogos, previa solicitud, sobre la protección física de materiales nucleares y otros materiales radiactivos, y las instalaciones y actividades conexas, incluidos los reactores nucleares de investigación.

Egipto recibió una misión IPPAS en 2005, y una misión adicional de expertos en 2014. En la evaluación independiente del estado del régimen de seguridad física nuclear en ese momento se determinó la necesidad de mejorar los sistemas de protección física en los reactores nucleares de investigación del país.

En respuesta a las recomendaciones de IPPAS y con el objetivo de mejorar la seguridad física nuclear de sus reactores de investigación, conocidos como ETRR-1 y ETRR-2, Egipto desarrolló un plan integrado de sostenibilidad de la seguridad física nuclear (INSSP), que es un mecanismo adaptado del OIEA para determinar y priorizar las necesidades nacionales en materia de seguridad física nuclear de los países.

**Los sistemas de protección física son esenciales para la seguridad física nuclear de las centrales nucleares y los reactores de investigación.** (Fotografías: D. Calma/OIEA)

## Mejoras de la protección física

El INSSP de Egipto incluye un proyecto para la mejora de la protección física que prioriza los sistemas de seguridad física nuclear, protege los dos reactores de investigación contra el sabotaje, el robo o cualquier otra apropiación ilícita de material nuclear, y atenúa o reduce al mínimo las consecuencias radiológicas de tales actos dolosos. Las dos primeras fases de ejecución del proyecto se llevaron a cabo de 2015 a 2020, mientras que la última fase está en curso.

“La complementariedad de los distintos instrumentos de asistencia incluidos en el programa de seguridad física nuclear del OIEA se manifiesta claramente en el caso de la ejecución concreta del proyecto en Egipto —declara Elena Buglova, Directora de la División de Seguridad Física Nuclear del OIEA—. El punto de partida de la cooperación con Egipto fue una misión IPPAS. Sin embargo, la ejecución del proyecto requirió un amplio apoyo técnico y financiero para la elaboración de nuevos reglamentos, la creación de capacidad técnica y, por supuesto, la mejora de los sistemas de protección física del complejo de reactores de investigación”.

El ETRR-1 se encuentra en régimen de parada a largo plazo, pero el complejo ETRR-2 funciona como instalación nacional de investigaciones sobre energía nuclear. También se utiliza

con fines didácticos y, sobre todo, para producir radioisótopos destinados a aplicaciones médicas, agrícolas e industriales. El ETRR-2, que tiene una potencia máxima de 22 megavatios, está situado en el Centro de Investigaciones Nucleares de la Autoridad de Energía Atómica de Egipto en Inshas, a unos 60 kilómetros de El Cairo. Se trata de un reactor de piscina abierta diseñado para su utilización en diversos ámbitos, como la física de neutrones, la ciencia de los materiales y la terapia por captura neutrónica en boro para el tratamiento del cáncer.

En el ETRR-2 hay sistemas de protección física mejorados e integrados en funcionamiento. “Ya se han colocado en la instalación sistemas de seguridad física nuclear modernos y diversos, y el personal cuenta con los conocimientos necesarios para utilizarlos —afirma Mahmoud Gad, Jefe del Departamento de Seguridad Física Nuclear de la Autoridad Reguladora Nuclear y Radiológica de Egipto—. El proyecto de mejora es importante para la seguridad física nuclear nacional y ha sido favorable para mejorar los sistemas de protección física del complejo ETRR-2”, añade.

Egipto acogió una serie de cursos nacionales de capacitación durante el período de ejecución del proyecto, a los que asistieron más de 80 participantes. Abarcaban diversos ámbitos técnicos relacionados con la seguridad física nuclear, como la autorización reglamentaria de los

reactores, la redacción de reglamentos, las inspecciones de seguridad informática y las medidas preventivas y de protección contra las amenazas de agentes internos.

“A pesar de desafíos como la COVID-19, y gracias al esfuerzo de todas las partes interesadas, hemos logrado alcanzar con éxito hitos importantes dentro del plazo acordado”, declara el Sr. Gad. El proyecto contó con apoyo financiero a través del Fondo de Seguridad Física Nuclear del OIEA.

La sostenibilidad de los resultados del proyecto —mediante actividades sólidas de diseño y ejecución, una evaluación periódica de las amenazas, una gestión adecuada de los conocimientos y un mantenimiento eficaz— fue un elemento clave en la creación de capacidad de Egipto en materia de protección física a lo largo de las distintas fases del proyecto. “La sostenibilidad impulsa los proyectos de asistencia del OIEA en materia de seguridad física nuclear que se llevan a cabo en todo el mundo y garantiza que los esfuerzos de los países por fortalecer sus regímenes de seguridad física nuclear se mantengan en el tiempo”, afirma la Sra. Buglova.

El OIEA está trabajando en proyectos similares con más países que han señalado la necesidad de mejoras técnicas de seguridad física nuclear en sus reactores de investigación.

# Nuevos instrumentos del OIEA ayudan a los países a decidir sobre la gestión del combustible gastado de los reactores de investigación

Sara Kouchehbagh

**P**roducción de isótopos de uso médico, enseñanza, investigación, capacitación, ensayo de materiales: los usos y beneficios de los reactores de investigación son numerosos y variados. Sin embargo, un desafío clave para los países que utilizan estas potentes herramientas, o tienen intención de hacerlo, es la gestión del combustible gastado, especialmente la infraestructura y los costos conexos.

New IAEA tools are making that task easier, and the IAEA has... Los nuevos instrumentos del OIEA facilitan esta tarea y el Organismo ha organizado talleres en los que se utilizan con el objetivo de ayudar a los países en el proceso de toma de decisiones.

El instrumento BRIDE (Evaluación Integrada para la Toma de Decisiones sobre la Parte Final del Ciclo del Combustible de Reactores de Investigación), que se basa en una hoja de cálculo de Excel personalizada, permite a los países comparar de forma cuantitativa las tecnologías disponibles y determinar la mejor estrategia según su situación. El instrumento FERREX (Estimación en Excel de los Costos del Ciclo del Combustible para Reactores de Investigación) puede proporcionar estimaciones detalladas de los costos de la estrategia elegida. Ambos están disponibles gratuitamente previa solicitud.

El OIEA ha elaborado tutoriales que contienen ejemplos de las aplicaciones de estos instrumentos y organizó

un taller piloto sobre BRIDE en Malasia en 2022. Se habló sobre FERREX en una actividad tras el taller.

“La correcta disposición final del combustible nuclear gastado es esencial para garantizar la seguridad, y BRIDE ha aportado información valiosa para tomar decisiones fundamentadas sobre el repositorio final —declara Julia Abdul Karim, del Organismo Nuclear Malasio, que gestiona el único reactor nuclear del país: el reactor de investigación TRIGA PUSPATI—. Desde mi punto de vista, el instrumento BRIDE es especialmente útil para países como Malasia, puesto que contribuye a la planificación estratégica de la futura gestión de su combustible nuclear gastado”.

Tras 40 años de funcionamiento del reactor TRIGA PUSPATI, Malasia está poniendo en marcha una estrategia y plan de gestión del envejecimiento para manipular su combustible gastado. Durante el taller de noviembre de 2022, el Organismo Nuclear Malasio presentó siete escenarios para que los participantes reflexionaran. A continuación, los participantes realizaron una aplicación experimental de BRIDE, que incluía una comparación de costos de cada actividad para ayudar a determinar la opción preferida. En el caso de Malasia, el siguiente paso es elaborar un plan estratégico para la disposición del combustible gastado, basado en los resultados del taller, que será revisado por el Gobierno de Malasia y las comunidades técnicas.

**El reactor de investigación TRIGA PUSPATI de Malasia lleva en funcionamiento desde 1982.**

(Fotografía: Organismo Nuclear Malasio)



“Este taller nos permitió ayudar a Malasia a analizar las distintas opciones para la disposición de sus materiales nucleares residuales —declara John Dewes, ingeniero nuclear del OIEA y director del taller—. No solo examinamos los costos del ciclo de vida de cada opción, sino que también tuvimos en cuenta los aspectos no económicos, como el impacto ambiental, la disponibilidad de recursos humanos, la preparación en materia jurídica y de reglamentación, y el apoyo político y público. Es muy complejo pensar en todos estos factores a la vez, pero el instrumento BRIDE evalúa metódicamente cada aspecto y luego combina los resultados”.

### Ciclo del combustible de un reactor de investigación

En octubre de 2023, había 224 reactores de investigación en funcionamiento en 54 países, y otros 25 previstos o en construcción. El ciclo del combustible de un reactor de investigación es como el de la mayoría de los reactores nucleares de potencia: comienza con la fabricación del combustible y termina con la gestión del combustible gastado y la disposición final. Al igual que en un reactor nuclear de potencia, el ciclo del combustible de un reactor de investigación incluye el almacenamiento temporal, así como el reprocesamiento o la disposición final del combustible gastado declarado como desecho. En última instancia, corresponde a cada país decidir cuál es el mejor método para la gestión de su combustible gastado.

El OIEA ofrece escenarios adaptados a las necesidades de cada país en función de sus circunstancias. La reciente publicación *Research Reactor Spent Fuel Management: Options and Support to Decision Making* (Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NF-T-3.9), producto directo de varios proyectos coordinados de investigación, proporciona información adicional sobre las estrategias disponibles para la gestión del combustible gastado de los reactores de investigación, y presenta la metodología de decisión para ayudar a quienes tienen que elegir entre varias opciones.

Esta publicación ayuda a determinar el mejor enfoque según la situación específica de cada país y presenta los instrumentos del marco de apoyo a la toma de decisiones del OIEA que deben tenerse en cuenta. Además, se ofrecen ejemplos de las tecnologías que utilizan actualmente algunos países. La publicación también ofrece información sobre BRIDE y FERREX, junto con estudios de caso y tutoriales para ayudar a los usuarios.

“Estas herramientas y talleres del OIEA sirven para facilitar un proceso educativo que permita a un país llegar a su propia conclusión sobre lo que más le conviene —afirma el Sr. Dewes—. De esta manera, países como Malasia pueden encontrar por sí mismos la mejor solución, al mismo tiempo que obtienen el apoyo necesario de todas de todas las partes interesadas pertinentes”.



## La experiencia del Brasil

### Reactores de investigación en beneficio de la sociedad

José Augusto Perrotta



**José Augusto Perrotta** trabaja en el ámbito de la tecnología de reactores nucleares desde 1978. Se incorporó al Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares (IPEN) de la Comisión Nacional de Energía Nuclear del Brasil en 1983 y se jubiló de su puesto en el IPEN en junio de 2022. Es investigador emérito del IPEN. Durante su carrera en el IPEN,

asumió diversos cargos técnicos, de gestión y coordinación. Entre ellos, cabe señalar el de Jefe de la División de Ingeniería del Núcleo del Reactor Nuclear, Jefe del Centro de Ingeniería Nuclear, Coordinador del Programa de Pilas de Combustible e Hidrógeno y Coordinador Técnico del Proyecto del Reactor Multipropósito Brasileño.

La importancia de los reactores de investigación para el mundo se puede ejemplificar a partir de la idea de que la ciencia, la tecnología, la innovación y la sociedad están inextricablemente unidas. La investigación y los descubrimientos científicos conducen al desarrollo de nuevas tecnologías. De este modo se fomenta la innovación, que a su vez beneficia a la sociedad en términos de salud, energía, agricultura, industria y desarrollo económico. Esto se aplica especialmente en el caso de los reactores de investigación.

Una de las formas en que la gente experimenta directamente los beneficios de los reactores de investigación es a través del acceso a la medicina nuclear, que se utiliza para tratar y diagnosticar el cáncer y las enfermedades cardiovasculares. Cada año, el Brasil lleva a cabo dos millones de

procedimientos en los que se utiliza la medicina nuclear, que depende de la producción de radioisótopos en los reactores de investigación. Esto quedó demostrado en 2009 cuando cerró el mayor proveedor mundial de isótopos de uso médico, el reactor NRU del Canadá. El Brasil, junto con muchos otros países, se vio muy afectado por la escasez de suministro mundial de molibdeno 99 (Mo 99), que se utiliza para el diagnóstico por la imagen. La medicina nuclear brasileña utiliza el 5 % del Mo 99 disponible a nivel mundial. Sin embargo, el Brasil había llegado a depender de otros países para abastecerse de este isótopo.

Tras esta crisis de suministro, se tomó la decisión de iniciar la construcción de un nuevo reactor de investigación multipropósito brasileño en la ciudad de Iperó, a unos 120 kilómetros de São Paulo. Es uno de los 25 nuevos reactores de investigación que actualmente se encuentran en fase de planificación o en construcción en el mundo. El nuevo reactor está diseñado para producir radioisótopos para aplicaciones médicas e industriales. Además, se utilizará para llevar a cabo ensayos de irradiación de combustibles y materiales en el marco del programa brasileño de energía nuclear, así como para proporcionar haces de neutrones con miras a la innovación y a la investigación científica y aplicada.

Muchas personas en el Brasil —y otros lugares— podrán beneficiarse de los reactores de investigación, ya sea porque necesitan radiofármacos, o gracias al aumento de conocimientos y de competencias tecnológicas desarrolladas para el bienestar humano y la mejora de nuestra sociedad.

El Brasil no depende principalmente de la energía nuclear para cubrir sus necesidades energéticas, puesto que obtiene gran parte de su electricidad de la energía hidroeléctrica, la eólica y el biogás. No obstante, este país ha sido pionero en la investigación de la tecnología nuclear desde la década de 1950. El Brasil fue el primer país del hemisferio sur que inauguró un reactor nuclear de investigación: el IEA-R1, un

reactor de tipo piscina de 2 megavatios. Este reactor entró en funcionamiento en 1957, en lo que hoy se conoce como el Instituto de Investigaciones Energéticas y Nucleares (IPEN) de São Paulo. Actualmente se sigue utilizando y produce radioisótopos para su uso en medicina e investigación científica. En 1960, el reactor de investigación TRIGA IPR-1 de 200 kilovatios empezó a operar en Belo Horizonte; en 1965, el reactor de investigación Argonauta de 500 vatios inició su actividad en el Instituto de Ingeniería Nuclear en Río de Janeiro, y, en 1988, la instalación crítica IPEN/MB-01 entró en funcionamiento en São Paulo.

Estos reactores de investigación actuaron como catalizadores del desarrollo de los centros de investigación de tecnología nuclear del Brasil debido a las aplicaciones multidisciplinarias de los reactores en diferentes ámbitos, desde la salud hasta la ingeniería. Gracias a que estos reactores de investigación están situados en un entorno académico, los estudiantes universitarios y los investigadores tienen acceso a ellos para llevar a cabo investigaciones y para capacitaciones especializadas. En los últimos decenios, los reactores de investigación del Brasil han brindado a sus científicos e ingenieros la posibilidad de llevar a cabo investigaciones científicas y tecnológicas en muchos ámbitos, como las relativas a los materiales utilizados en reactores nucleares de potencia y la aplicación de neutrones en la industria, la agricultura y el medio ambiente. Asimismo, cabe citar otros campos de investigación como las posibilidades del ciclo del combustible nuclear tanto para el uranio como para el torio, y sus diversos compuestos; el desarrollo del combustible nuclear; la investigación sobre el tratamiento y el almacenamiento de desechos radiactivos; la metrología nuclear, y el diseño de reactores nucleares y otras instalaciones nucleares y de irradiación.

El Brasil, cuyos reactores de investigación son la base de la actividad nuclear del país, participa en numerosos y prometedores avances en el sector nuclear. Se investiga sobre

cuestiones como la fusión, el uso de láseres de alta intensidad, los microrreactores para la exploración espacial y los reactores modulares pequeños (SMR). El Brasil desarrolló combustible de uranio poco enriquecido para su uso en SMR y reactores de investigación. En el marco de la investigación sobre soluciones de energía limpia, también se han desarrollado hidrógeno y pilas de combustible.

El Brasil se adhiere al Código de Conducta sobre la Seguridad de los Reactores de Investigación del OIEA y está bien organizado a nivel nacional en materia de seguridad tecnológica nuclear, con una nueva autoridad reguladora nuclear independiente y entidades explotadoras comprometidas. En este sentido, el OIEA desempeña un papel muy importante, ya que los servicios que presta, como las normas de seguridad y los documentos técnicos del OIEA, los talleres, los cursos de capacitación, los simposios, la cooperación técnica y las misiones de examen, permiten al Brasil crear un entorno con una sólida cultura de seguridad tecnológica y física en sus instalaciones nucleares.

Mientras el IPEN sigue proporcionando una gran capacidad de investigación y desarrollo, su programa de postgrado en tecnología nuclear en la Universidad de São Paulo es fundamental para forjar la próxima generación de profesionales de la tecnología nuclear en el Brasil. Hasta la fecha, más de 3300 estudiantes se han graduado en programas de maestría y doctorado en esta universidad, y el IPEN cuenta, anualmente, con unos 1000 estudiantes que cursan titulaciones de diversos niveles. El programa sobre tecnología nuclear es popular tanto entre hombres como entre mujeres, y las mujeres representaron el 46 % de los estudiantes en 2022. Sin embargo, a pesar de estos logros, los recursos humanos siguen siendo uno de nuestros mayores desafíos para el futuro de los reactores de investigación y del ámbito nuclear en general, ya que las necesidades son mayores que los recursos disponibles. Debemos atraer a más jóvenes a las profesiones nucleares. Sin recursos humanos no podemos lograr nada.

# El OIEA y la FAO ponen en marcha la iniciativa Atoms4Food para ampliar el uso de técnicas nucleares en apoyo de la seguridad alimentaria mundial



La iniciativa Atoms4Food, puesta en marcha por el OIEA y la FAO, ayudará a los países a utilizar técnicas nucleares innovadoras de diferentes maneras para reforzar la seguridad alimentaria. (Fotografía: K. Laffan/OIEA)

El OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) pusieron en marcha la iniciativa Atoms4Food en el Foro Mundial de la Alimentación, celebrado el 18 de octubre de 2023 en Roma, a fin de ayudar a aumentar la seguridad alimentaria y afrontar el aumento del hambre en el mundo.

Atoms4Food ayudará a los países a utilizar técnicas nucleares innovadoras para aumentar la productividad agrícola, reducir las pérdidas de alimentos, garantizar la inocuidad de los alimentos, mejorar la nutrición y adaptarse a los desafíos del cambio climático.

“Nos encontramos en una época sin precedentes, en la que el hambre y la malnutrición van en aumento, lo que supone una amenaza para la humanidad —afirman el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, y el Director General de la FAO, Qu Dongyu, en una declaración conjunta—. La iniciativa Atoms4Food tiene por objetivo ofrecer a los Estados Miembros soluciones innovadoras adaptadas

a sus necesidades y circunstancias específicas, aprovechando las ventajas de las técnicas nucleares junto con otras tecnologías avanzadas”.

El mundo se enfrenta a grandes desafíos en materia de seguridad alimentaria y nutrición. En 2022, entre 691 y 783 millones de personas padecieron hambre y 3100 millones no pudieron permitirse una dieta saludable, es decir, más del 40 % de la población mundial. Al mismo tiempo, la obesidad es cada vez más frecuente en todas las regiones del mundo.

“El aumento de los extremos climáticos provocará la pérdida de más cosechas, al tiempo que crecerá la demanda mundial de alimentos. Tenemos que usar todos los instrumentos a nuestra disposición para cultivar más alimentos —afirma el Director General Grossi—. Las ciencias nucleares ofrecen instrumentos innovadores increíbles para producir cultivos más fuertes, más sanos y más seguros, y para proteger las fuentes de alimentos que necesitamos para vivir”.

Atoms4Food se basa en los casi 60 años de experiencia que han acumulado conjuntamente el OIEA y la FAO en su labor de ayuda a los países a utilizar soluciones de tecnología nuclear e isotópica con el fin de mejorar la seguridad alimentaria, así como la nutrición y la inocuidad de los alimentos.

Las técnicas nucleares se pueden utilizar de distintas maneras para reforzar la seguridad alimentaria. Se utilizan para acelerar el proceso natural de mutación de las plantas, con el objetivo de desarrollar cultivos que resistan mejor las enfermedades y las variaciones climáticas. Las técnicas nucleares e isotópicas también pueden emplearse para evaluar el uso de nutrientes y del agua en el suelo, diagnosticar y caracterizar patógenos de enfermedades en animales, determinar las fuentes de contaminación del agua y estudiar diversas formas de malnutrición. La técnica nuclear del insecto estéril está dirigida a las poblaciones de



insectos, lo que permite reducir el uso de insecticidas tanto para los cultivos como para el ganado. La irradiación de los alimentos puede garantizar su seguridad frente a los patógenos y aumentar el tiempo

de conservación para contribuir a la seguridad alimentaria.

La investigación personalizada constituirá el eje de esta iniciativa, que se centrará en las necesidades

específicas de los países a través de innovaciones y soluciones concretas.

— Sinead Harvey

## El Centro de capacitación del OIEA sobre de seguridad física nuclear creará conocimientos especializados en la lucha contra el terrorismo nuclear

El OIEA ha celebrado la apertura de un centro de capacitación sobre seguridad física nuclear único — la primera instalación internacional de su tipo— destinado a prestar apoyo a las crecientes labores de lucha contra el terrorismo nuclear mundial.

El 3 octubre de 2023 el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, inauguró oficialmente el Centro de Capacitación y Demostración en materia de Seguridad Física Nuclear, del OIEA, durante una ceremonia celebrada en los Laboratorios del OIEA de Seibersdorf (Austria) a la que asistieron representantes de 45 países y territorios.

El centro proporcionará más de 2000 metros cuadrados de infraestructura y equipo técnicos especializados para que los participantes de los cursos aprendan sobre la protección física de los materiales nucleares y otros materiales radiactivos, así como sobre la detección de actos delictivos relacionados con materiales e instalaciones nucleares y la respuesta a esos actos.

“La seguridad física nuclear es una de las esferas más importantes de nuestra labor encaminada a garantizar que el material nuclear nunca caiga en las manos equivocadas —declara el Sr. Grossi—. El centro de excelencia internacional en materia de seguridad física nuclear es el lugar en el que expertos de todo el mundo en materia de seguridad física nuclear y protección física de los materiales nucleares recibirán capacitación para perfeccionar sus habilidades”.

Las solicitudes al OIEA de capacitación en seguridad física nuclear han aumentado durante los últimos años, a medida que más países inician programas nucleoelectrónicos y tras la entrada en vigor, en 2016, de la



El Centro de Capacitación y Demostración en materia de Seguridad Física Nuclear, del OIEA, inaugurado en octubre de 2023. (Fotografía: K. Laffan/OIEA)

Enmienda de la Convención sobre la Protección Física de los Materiales Nucleares (CPFMN): el único instrumento internacional jurídicamente vinculante en la esfera de la protección física de los materiales nucleares.

El nuevo centro, de dos plantas, cuenta con entornos simulados, herramientas de realidad virtual y programas informáticos avanzados. En él se ofrecerán actividades prácticas sobre sistemas de seguridad física nuclear para la protección física de instalaciones nucleares, seguridad física de la información y seguridad informática, criminalística nuclear, grandes eventos públicos y otras esferas de trabajo relacionadas con la seguridad física nuclear.

“Estamos dotando a los países de herramientas para que trabajen mejor y de forma tecnológica y físicamente más segura en el ámbito nuclear”, añade el Director General Grossi.

En octubre el centro dio la bienvenida a los primeros alumnos con motivo

de un curso sobre la gestión de la seguridad física de materiales radiactivos, uno de los 23 cursos y talleres de capacitación ofrecidos.

“Gracias a la construcción de este nuevo centro, el OIEA puede ofrecer actividades de capacitación inigualables para subsanar las carencias actuales utilizando equipo especializado actualizado, herramientas de simulación informáticas y métodos de capacitación avanzados”, señala Elena Buglova, Directora de la División de Seguridad Física Nuclear.

El centro, que forma parte de un edificio de finalidad múltiple que se construyó con más de 18 millones de euros de financiación extrapresupuestaria aportada por 15 donantes, además de contribuciones en especie, refuerza las capacidades del OIEA para responder a las necesidades de los países en materia de creación de capacidad sobre seguridad física nuclear.

— Sinead Harvey

# Publicaciones del OIEA



Consulta gratuita en línea



Descargar aquí



[www.iaea.org/es/publicaciones](http://www.iaea.org/es/publicaciones)



Si desea encargar una publicación, escriba a:  
[sales.publications@iaea.org](mailto:sales.publications@iaea.org)

## DESCARGAR

### Seguridad de los reactores de investigación

y otras publicaciones del OIEA relacionadas con los reactores de investigación

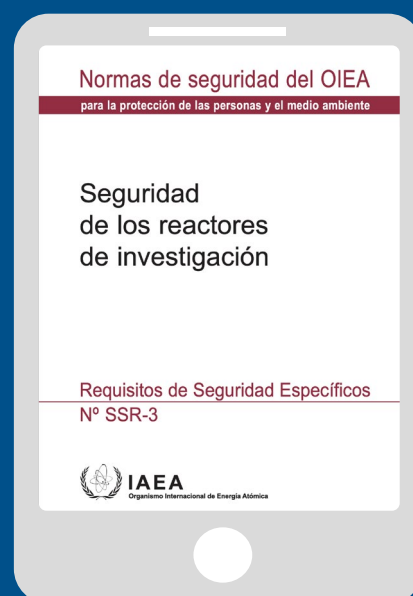
**Feasibility Study Preparation for New Research Reactor Programmes**

**Commissioning of Research Reactors**

**Post-irradiation Examination Techniques for Research Reactor Fuels**



[www.iaea.org/es/bulletin/64-4](http://www.iaea.org/es/bulletin/64-4)



# Únanse a nosotros

para lograr sistemas energéticos de emisiones cero

## ATOMS4 NETZERO

El OIEA invita a los Estados Miembros, la industria, las instituciones financieras y otras partes interesadas a que se unan a nosotros y aporten sus conocimientos especializados, sus herramientas de modelización, sus conocimientos industriales, y sus recursos financieros y de promoción.

[www.iaea.org/es/Atoms4NetZero](http://www.iaea.org/es/Atoms4NetZero)



Lea el *Boletín del OIEA* en línea en  
[www.iaea.org/es/bulletin](http://www.iaea.org/es/bulletin)

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

o síganos en:

