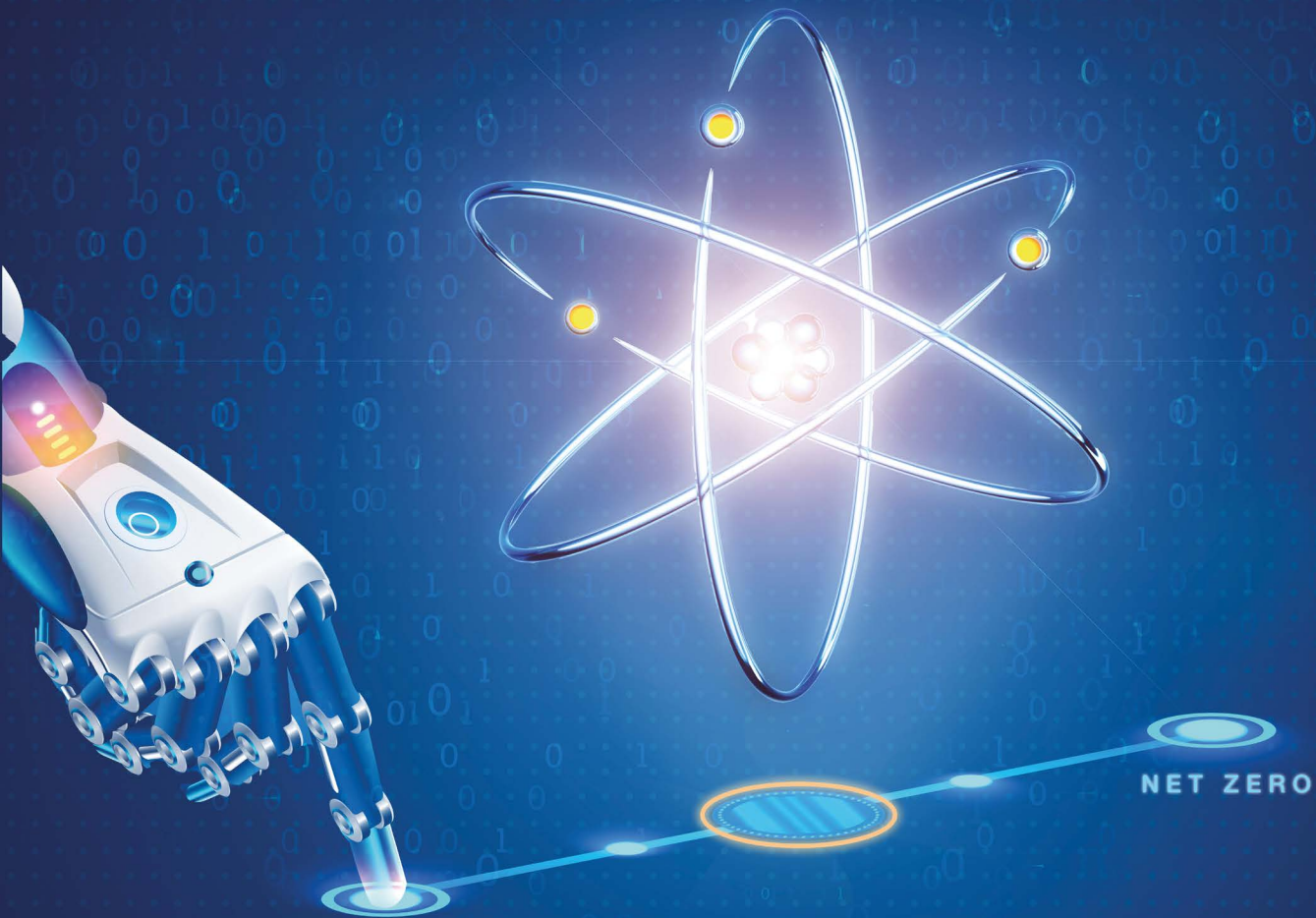




# IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

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



## INNOVACIONES NUCLEARES PARA EMISIONES NETAS CERO

Innovaciones para una energía ininterrumpida con bajas emisiones de carbono: el poder de los sistemas energéticos híbridos, pág. 6

Descarbonizar las industrias con la ayuda de microrreactores y reactores nucleares pequeños, pág. 12

Cuando los desechos nucleares son un recurso valioso en lugar de una carga, pág. 20



### 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  
[iaebulletin@iaea.org](mailto:iaebulletin@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.

**Portada:**  
OIEA

Síguenos en:



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

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

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).

# Nuestro camino innovador hacia un mundo con emisiones netas cero

Rafael Mariano Grossi, Director General del OIEA

Ante las consecuencias cada vez más graves del cambio climático y la imperiosa necesidad de un desarrollo sostenible a las que nos enfrentamos, la energía nucleoelectrica se considera cada vez más como una solución fiable para apoyar nuestra transformación hacia un mundo con emisiones netas cero.

La capacidad de la energía nuclear deberá duplicarse con respecto a los niveles actuales para alcanzar los objetivos climáticos mundiales. Sin embargo, nuestra tecnología energética actual no será suficiente. La mitad de las reducciones de emisiones de dióxido de carbono necesarias para cumplir el objetivo de emisiones netas cero en 2050 deberán proceder de tecnologías que aún no están en el mercado. Por eso es tan importante la innovación tecnológica. Los expertos de la industria nuclear coinciden en que será fundamental impulsar la capacidad de fabricación y de producción de combustible, así como armonizar los enfoques de reglamentación, para el despliegue de la próxima generación de reactores nucleares.

Habida cuenta de la urgencia de mitigar las emisiones y mejorar la seguridad energética en todo el mundo, no se puede subestimar la importancia de la energía nucleoelectrica, ni tampoco las innovaciones que nos ayudarán a aprovechar plenamente sus posibilidades: desde diseños de reactores novedosos que superan los valores de referencia de la eficiencia hasta la integración de la inteligencia artificial en las soluciones del ciclo de vida de las centrales nucleares. Además de la generación de electricidad, los reactores nucleares ya se utilizan para la desalación de agua de mar y ofrecen importantes posibilidades para otras aplicaciones no eléctricas. En esta edición del Boletín se ofrece una visión general de estos avances innovadores con aportaciones de destacados expertos.

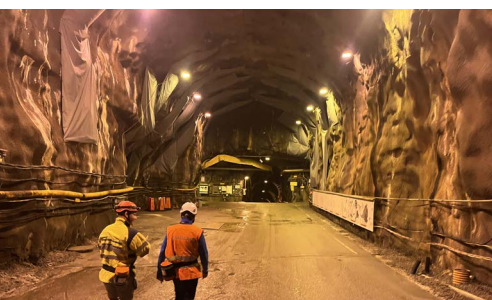
Existe un creciente interés por los reactores modulares pequeños (SMR), que son reactores nucleares avanzados que suelen generar hasta 300 MW(e). Los SMR parecen estar listos para ampliar el acceso mundial a la energía nuclear, ya que se adaptan mejor a las redes eléctricas pequeñas y se

integran más fácilmente con las fuentes de energía renovables. Esto los convierte en una posible solución para los países en desarrollo, muchos de los cuales han mostrado interés por conocer mejor esta tecnología. Hay más de 80 diseños de SMR en diversas fases de desarrollo en 18 países, unidades de SMR ya desplegadas en China y la Federación de Rusia y un diseño en construcción en la Argentina. La Plataforma del OIEA sobre Reactores Modulares Pequeños y sus Aplicaciones, así como la Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear del OIEA, desempeñan un papel importante a la hora de apoyar el despliegue de SMR tecnológica y físicamente seguros a escala mundial.



En la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP27) del año pasado, presenté Atoms4NetZero. Esta iniciativa dota a los países y las partes interesadas de conocimientos técnicos especializados y pruebas científicas sobre el papel de la energía nuclear en la descarbonización de la producción de electricidad y de sectores en los que esta tarea resulta difícil, como la industria y el transporte. Ayuda a modelizar las formas en que la energía nucleoelectrica puede contribuir a reducir a cero las emisiones netas de gases de efecto invernadero para 2050.

Está claro que para cumplir los objetivos de emisiones mundiales, necesitamos la energía nuclear. El éxito dependerá del funcionamiento continuado de muchas centrales existentes, de la construcción de más centrales nucleares tradicionales de gran tamaño y del despliegue de reactores avanzados, incluidos los SMR. Para todo ello se necesita más innovación y colaboración en todos los puntos del ciclo del combustible. El OIEA seguirá desempeñando su singular función en la tarea de facilitar ambos aspectos para que la energía nuclear pueda contribuir a crear un mundo próspero que no nos cueste el planeta.



Fotografías: OIEA



**1 Nuestro camino innovador hacia un mundo con emisiones netas cero**



**4 ¿Qué son las emisiones netas cero?  
¿Qué función desempeñan la energía nucleoelectrica y las innovaciones nucleares?**



**6 Innovaciones para una energía ininterrumpida con bajas emisiones de carbono:  
el poder de los sistemas energéticos híbridos**



**8 Descarbonizar la producción de acero mediante el hidrógeno nuclear**



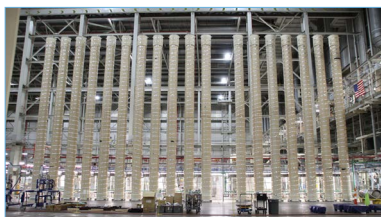
**10 Aprovechar la energía nucleoelectrica para la desalación con el fin de asegurar los recursos de agua dulce**



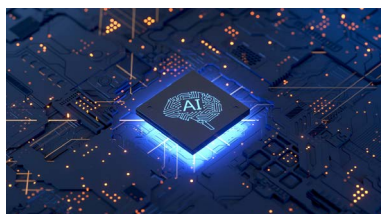
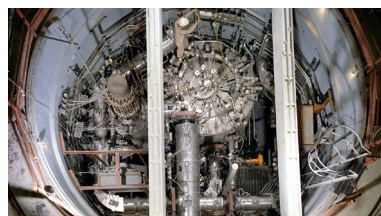
**12 Descarbonizar las industrias con la ayuda de microrreactores y reactores nucleares pequeños**



**14 Aprovechar la promesa de la fabricación aditiva para los reactores nucleares avanzados**

**16 Alimentar el futuro:**

creación de cadenas de suministro de combustible para los SMR y los reactores avanzados

**18 Mejora de la producción de energía nucleoelectrica gracias a la inteligencia artificial****20 Cuando los desechos nucleares son un recurso valioso en lugar de una carga****22 El potencial a largo plazo del torio en la energía nuclear****24 La reglamentación de los diseños de reactores innovadores****26 Verificación del combustible nuclear gastado en repositorios geológicos profundos****ENTREVISTA**

---

**28 Crear percepciones sobre la energía nuclear****NOTICIAS DEL OIEA**

---

**30 Noticias del OIEA****32 Publicaciones**

# ¿Qué son las emisiones netas cero? ¿Qué función desempeñan la energía nucleoelectrica y las innovaciones nucleares?

Joanne Liou

En la búsqueda de un futuro sostenible y resiliente al clima, lograr cero emisiones netas de gases de efecto invernadero (GEI) se ha convertido en un objetivo en todo el mundo. Lograr las emisiones netas cero supone ya sea utilizar tecnologías que no emitan GEI —como las energías renovables, la energía hidroeléctrica o la energía nucleoelectrica— o permitir ciertos niveles de emisiones y eliminar una cantidad equivalente de la atmósfera mediante la captura de carbono u otras tecnologías.

“En la comunidad que estudia el clima existe consenso con respecto a que, para limitar el calentamiento global a 1,5 grados de aquí al fin del siglo, el sistema energético, que es la principal fuente de emisiones de GEI, debe ser neutro en carbono. Es decir, que no haya emisiones o que haya emisiones netas cero”, explica Henri Paillere, Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del OIEA. Mediante el Acuerdo de París de 2015 —aprobado por 196 países— se pretende limitar el calentamiento global a una cifra inferior a 2 grados Celsius, preferiblemente a 1,5 grados Celsius.

También existe consenso científico respecto de que la actividad humana es la principal impulsora del cambio climático. La quema de combustibles fósiles y el aclareo

de tierras de cultivo y de bosques, incluidos los manglares, generan GEI como el dióxido de carbono y el metano, que atrapan el calor y provocan un aumento de las temperaturas. La creciente frecuencia con la que se producen fenómenos meteorológicos extremos, subidas del nivel del mar y cambios en la temperatura mundial pone de relieve la urgencia de transitar hacia una sociedad neutra en carbono.

Naciones de todo el planeta se han comprometido a reducir sus emisiones de GEI para acotar su efecto y hacer frente a la crisis climática. “Para lograr emisiones netas cero es necesario un enfoque polifacético que incluya una reducción del consumo de combustibles fósiles y una mayor dependencia de fuentes de energía limpia”, señala el Sr. Paillere. Según el World Energy Outlook 2022, publicado por la Agencia Internacional de Energía (AIE), la energía nucleoelectrica suministra el 10 % de la electricidad total mundial y una cuarta parte del suministro eléctrico con bajas emisiones de carbono.

“La energía nucleoelectrica, reconocida por su baja huella de carbono y por su fiabilidad en la generación de energía, se presenta como un actor clave en la transición hacia una energía limpia”, agrega el Sr. Paillere.



## Un camino a seguir innovador

Las innovaciones en la industria nuclear serán primordiales para aprovechar el pleno potencial de la energía nucleoelectrica para lograr los objetivos de emisiones netas cero. A este respecto, están apareciendo en escena diseños de reactores novedosos, junto con nuevos métodos de fabricación modular, cuyo despliegue presenta oportunidades y plantea desafíos. La Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear del OIEA está hallando un terreno común entre reguladores, diseñadores, operadores y otras partes interesadas para apoyar el despliegue tecnológica y físicamente seguro de estos reactores avanzados, incluidos los reactores modulares pequeños.



No obstante, las perspectivas de la energía nucleoelectrica dependen no solo de las innovaciones en las tecnologías de reactores, sino también de los procesos de fabricación, la seguridad física del suministro del combustible, las soluciones relacionadas con el combustible gastado y otros factores. Ya existen ejemplos de cómo innovaciones como la inteligencia artificial y la fabricación aditiva están allanando el camino a soluciones seguras y sostenibles que podrían ayudar a ahorrar costos y mejorar los aspectos económicos de la operación de las centrales nucleares.

Mientras que la energía eólica y solar son fuentes de energía variable que dependen de la meteorología y la hora del día, las centrales nucleares son fuentes de energía distribuidas: pueden ajustar su producción según la demanda de electricidad. La posibilidad de establecer sistemas de energía híbridos que reúnan las fuentes de energía nucleoelectrica y de energía renovable responde a la necesidad de contar con redes flexibles y reducir las emisiones al tiempo que se optimizan los recursos financieros. Además, la ampliación del uso de la energía nucleoelectrica para aplicaciones no eléctricas, como la calefacción urbana, la producción de hidrógeno, la desalación y la producción de calor para procesos industriales, ofrece opciones para reducir las emisiones.



En la búsqueda de las emisiones netas cero, la AIE sostiene que la energía nuclear está bien posicionada para ayudar a descarbonizar el suministro de electricidad y que una reducción de la energía nucleoelectrica encarecería y dificultaría más las ambiciones de alcanzar las emisiones netas cero. Para aprovechar el poder de la energía nuclear para la transición a emisiones netas cero, el OIEA puso en marcha la iniciativa Atoms4NetZero, que pretende informar a los responsables de la formulación de políticas y de la toma de decisiones sobre el posible camino a seguir para que la energía nucleoelectrica se convierta en el eje central fiable de transiciones energéticas limpias, asequibles, resilientes y más seguras. A fecha de agosto de 2023, hay 410 reactores nucleares de potencia en funcionamiento que suman un total de más de 368 000 MW(e) de capacidad instalada en 31 países. Además, hay 57 reactores en construcción en 17 países, de los cuales 3 están construyendo sus primeros reactores nucleares.

La transición mundial hacia la energía nucleoelectrica quedó patente el pasado año en la Conferencia General del OIEA de 2022. Cincuenta y un países —una cifra sin precedentes— promovieron el papel de la energía nucleoelectrica para la consecución de sus objetivos en relación con la mitigación del cambio climático, la seguridad energética y el desarrollo sostenible.

“La crisis climática y la crisis energética han impulsado a más países a considerar la energía nucleoelectrica como parte de la solución, ya que encuestas de opinión pública de todo el mundo están demostrando un creciente grado de aceptación de este tipo de energía, —señaló el Director General, Rafael Mariano Grossi, en su declaración ante la Conferencia—. Los atributos singulares de la energía nucleoelectrica como fuente de energía tecnológica y físicamente segura y fiable son cruciales para la transición verde del planeta”.

# Innovaciones para una energía ininterrumpida con bajas emisiones de carbono: el poder de los sistemas energéticos híbridos

Emma Midgley

Para lograr reducir las emisiones procedentes del sector energético, el despliegue de todas las fuentes de energía bajas en carbono es primordial. Dado que en las redes eléctricas ha aumentado el porcentaje de sistemas de fuentes de energía renovable intermitentes con miras a garantizar el suministro ininterrumpido de energía con bajas emisiones de carbono, las centrales nucleares se están utilizando en sistemas energéticos híbridos a fin de cubrir las carencias de la producción de electricidad solar y eólica.

La energía nucleoelectrica es una fuente de generación de energía distribuida, capaz de adaptarse a una demanda de energía cambiante, y puede generar, de manera constante, enormes cantidades de electricidad fiable con bajas emisiones de carbono. Esta estabilidad es el motivo por el que habitualmente se ha utilizado la energía nucleoelectrica como carga base: opera de forma continua con muy poca variación —si la hay— en la producción. Junto con las renovables, la energía nucleoelectrica también contribuye a la estabilidad de las redes eléctricas respaldando la producción intermitente de las fuentes de energía renovable. Por ejemplo, algunas centrales nucleares de los Estados Unidos de América suelen ajustar su capacidad en torno al 10 % y el 15 % para reflejar las variaciones habituales de la demanda de electricidad y la contribución intermitente de las renovables.

“Los sistemas energéticos híbridos conformados por energía nuclear y energía renovable ofrecen una potente sinergia, puesto que combinan la fiabilidad y la capacidad de la carga base de la energía nucleoelectrica con las fuentes de energía renovable intermitentes. Este enfoque integrado es crucial para avanzar hacia un futuro energético resiliente y bajo

en emisiones de carbono que pueda satisfacer la creciente demanda y, a su vez, mitigar el cambio climático”, afirma Tatjana Jevremovic, Jefa de Grupo del OIEA de desarrollo de la tecnología de los reactores refrigerados por agua.

Para descarbonizar cada hora de consumo de energía, habrá que utilizar todas las tecnologías que no generan emisiones de carbono. Las sinergias potenciales de estos recursos energéticos aún no se han explotado por completo y los expertos están investigando las ventajas estratégicas que supondría integrar directamente estos sistemas. Con los sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y renovable se pretende acoplar las fuentes de energía nuclear y las de energía renovable aprovechando cada uno de sus beneficios. El objetivo es suministrar electricidad fiable y sostenible a la red y, al mismo tiempo, ofrecer energía con bajas emisiones de carbono a diversos sectores de consumo de energía.

## Sistemas acoplados

Los sistemas híbridos incorporan multitud de generadores de energía de dos formas distintas. En primer lugar, mediante sistemas sin conexión directa, que combinan la producción de diversas fuentes de energía para mejorar el desempeño y la fiabilidad del sistema global. Y, en segundo lugar, si bien los sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y energía renovable están pendientes de materializarse, mediante un sistema más integrado y acoplado. Este tipo de sistema aprovecha las fortalezas singulares de cada uno de sus componentes para lograr una optimización de la producción de energía, así como beneficios medioambientales.





“Avanzar hacia sistemas energéticos más integrados presenta la posibilidad de satisfacer de manera constante la demanda de la red, con independencia de que la generación de electricidad provenga de fuentes de energía nuclear, eólica, hidroeléctrica, solar, de biomasa o de energía geotérmica. Lo ideal sería que esos sistemas incorporasen también soluciones de almacenamiento de energía para gestionar de manera eficaz las fluctuaciones en las demandas netas de energía —apunta la Sra. Jevremovic—. Además, la inclusión de impuestos sobre el carbono en la evaluación económica de la adopción de sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y renovable podría reducir sus costos operativos aún más que los asociados con las fuentes de energía de combustibles fósiles convencionales”.

En el futuro, los sistemas energéticos híbridos bien acoplados se reestructurarían para maximizar sus sinergias y optimizar la generación de electricidad en función de las condiciones existentes en cada momento. Por ejemplo, las fuentes de energía renovable se podrían integrar aún mejor con las centrales nucleares para proporcionar electricidad complementaria en los momentos de máxima demanda, compensando así la rigidez de la energía nucleoelectrica para cambiar la producción de forma rápida. En otro ejemplo, si la energía nucleoelectrica se hubiera de integrar con sistemas hidroeléctricos, el exceso de energía procedente de los reactores nucleares fuera de las horas de máxima demanda se podría utilizar para bombear agua a embalses elevados, que posteriormente se podría liberar para impulsar turbinas hidroeléctricas durante los períodos de alta demanda.

Los sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y renovable también se podrían utilizar para gestionar y coordinar la generación de electricidad en lugares remotos y sin conexión a la red eléctrica, a fin de garantizar el suministro de electricidad a infraestructura crítica, como hospitales o estaciones de transporte. El Laboratorio Nacional de Idaho expuso recientemente un sistema autónomo denominado “microrred en una caja”. En esta situación hipotética, un reactor modular pequeño estaría integrado con energía hidroeléctrica, solar o eólica para suministrar electricidad en caso de apagón o interrupción generalizada del suministro eléctrico.

## Función del OIEA

Recientemente, el OIEA puso en marcha un proyecto coordinado de investigación sobre la evaluación y la optimización técnicas de los sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y renovable. El objetivo es mejorar metodologías para evaluar el papel que podrían desempeñar los sistemas energéticos híbridos de energía nuclear y renovable en los sistemas energéticos actuales y futuros, así como señalar oportunidades, promover la cooperación internacional y compartir conocimientos sobre la materia para ayudar a los países a alcanzar sus objetivos de emisiones netas cero. El Pakistán es uno de los países que participan en el proyecto. “La estrategia de integración de la energía nuclear y la energía renovable sobresale en medio de las necesidades energéticas del Pakistán y habida cuenta de los desafíos medioambientales mundiales —señala Haseeb ur Rehman, Ingeniero Superior y Profesor Adjunto del Instituto de Ingeniería y Ciencias Aplicadas del Pakistán (PIEAS) —. La luz solar y el viento abundan, y la energía nucleoelectrica añade estabilidad. Esta combinación reduce las emisiones e impulsa la seguridad energética”.

El OIEA ha desarrollado una plataforma denominada Hub for On-line Nuclear Power Plant Part-Task Simulators (HOPS) en cooperación con el centro colaborador del OIEA en el PIEAS. La HOPS incluye dos simuladores basados en un sistema energético híbrido de energía nuclear y eólica y un sistema energético híbrido de energía nuclear y solar. Gracias a estos simuladores, los usuarios pueden llevar a cabo capacitación sobre el desempeño operacional de los sistemas y subsistemas de centrales nucleares. Los simuladores y la documentación conexa se distribuyen de forma gratuita, previa solicitud, a profesionales del sector nuclear de todo el planeta.

**Los sistemas energéticos integrados presentan la posibilidad de satisfacer de manera constante la demanda de la red, con independencia de que la generación de electricidad provenga de fuentes de energía nuclear o renovable.**

(Imagen: OIEA)



# Descarbonizar la producción de acero mediante el hidrógeno nuclear

Mariia Platonova

La producción de acero genera más del 7 % de las emisiones de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) a escala mundial. Este porcentaje tenderá a aumentar en las próximas décadas, como también lo hará la demanda de acero, que es indispensable para sectores que van desde la energía y el transporte hasta la construcción y los electrodomésticos. Sin embargo, la energía nuclear podría ayudar a encaminar la producción de acero hacia unas emisiones netas cero.

Cada año se producen alrededor de 2000 millones de toneladas de acero en todo el mundo. De acuerdo con la Agencia Internacional de Energía, se prevé que de aquí a 2050 la demanda de acero aumentará más de un tercio, principalmente en los países en desarrollo. Cada vez son más las compañías internacionales que buscan formas de descarbonizar los procesos industriales de este sector que consumen una gran cantidad de energía.

La industria siderúrgica depende en gran medida del carbón coquizable, que se utiliza para alimentar los altos hornos en los que se transforma el mineral de hierro en acero mediante un proceso que emite grandes cantidades de CO<sub>2</sub>. Sin embargo, es posible obtener acero a partir de un método llamado reducción directa del hierro, en el que el hidrógeno reacciona con el mineral de hierro sin fundirse y emite vapor de agua sin CO<sub>2</sub>.

“Es impresionante la cantidad de hidrógeno que se necesita para producir acero verde. Tradicionalmente se han utilizado combustibles fósiles para generar casi todo el hidrógeno. Por eso, uno de los mayores desafíos va a ser encontrar la cantidad necesaria de hidrógeno descarbonizado —afirma Francesco Ganda, Jefe Técnico de Aplicaciones No Eléctricas en el OIEA—. La producción nuclear de hidrógeno, con cero emisiones, puede ser algo realmente revolucionario para el sector, pues la energía nucleoelectrónica puede producir suficiente calor y electricidad las 24 horas del día para generar la cantidad necesaria de hidrógeno. Esto podría ayudar a avanzar muchísimo en el proceso de transición a una energía limpia”.

Los reactores nucleares de potencia pueden combinarse con una planta de producción de hidrógeno para obtener de forma eficiente energía e hidrógeno en un sistema de cogeneración que está provisto de componentes para electrólisis o para procesos

termoquímicos. La electrólisis es un proceso que consiste en dividir las moléculas de agua mediante una corriente eléctrica directa para producir hidrógeno y oxígeno.

La electrólisis del agua tiene lugar a temperaturas relativamente bajas, inferiores a 100° C, mientras que la electrólisis del vapor ocurre a temperaturas mucho más elevadas, de entre 700° C y 800° C aproximadamente, y necesita menos electricidad que la electrólisis del agua. La electrólisis del agua es un proceso en el que se utiliza electricidad para separar el hidrógeno del oxígeno del agua. Este tipo de tecnología ha estado disponible en el mercado desde hace décadas. La electrólisis a alta temperatura sigue el mismo principio, pero utiliza agua en forma de vapor, con lo que se reduce la cantidad de electricidad necesaria.

Gracias a los avances en las tecnologías de electrolizadores, producir hidrógeno a partir de reactores nucleares convencionales se está volviendo más eficiente y menos costoso. Al menos una central nuclear en los Estados Unidos de América —Prairie Island, en Minnesota— está instalando un electrolizador de alta temperatura y utilizando el calor procedente del reactor para reducir el uso de electricidad y, por lo tanto, el costo de la producción nuclear de hidrógeno.

“Puede sacarse partido de la energía térmica que genera una central nuclear en forma de vapor para el proceso de alta temperatura de los electrolizadores de óxido sólido. De esta forma, los electrolizadores tienen una tasa de eficiencia altísima —explica Akhil Batheja, Director de Desarrollo Empresarial del Hidrógeno en Bloom Energy, una compañía que produce pilas de combustible de óxido sólido para la generación de energía—. Dado que la mayoría de los costos derivados de la obtención de hidrógeno mediante la electrólisis se deben a la electricidad, esta es la propuesta más rentable para una central nuclear y para la generación de hidrógeno de bajas emisiones de carbono”.

## Función del OIEA

El OIEA ayuda a los países apoyando la investigación sobre el uso de la capacidad nuclear existente para producir hidrógeno. Para ello organiza, entre otras cosas, proyectos coordinados de investigación. Con el objetivo de ayudar a los países a evaluar, planificar y elaborar estrategias para crear proyectos



**El uso de energía nucleoelectrica baja en carbono para producir hidrógeno podría contribuir a descarbonizar la industria siderúrgica.** (Fotografía: Adobe Stock)

relacionados con el hidrógeno nuclear, el OIEA también organiza reuniones técnicas y ha desarrollado el Programa de Evaluación Económica del Hidrógeno, un instrumento que sirve para evaluar la viabilidad tecnicoeconómica de la producción de hidrógeno a gran escala mediante energía nuclear. Además, en 2022, el OIEA puso en marcha una iniciativa encaminada a elaborar una hoja de ruta para el despliegue a escala comercial de la producción de hidrógeno mediante energía nuclear y publicó un curso de aprendizaje electrónico sobre la producción de hidrógeno mediante cogeneración nuclear.

“Varios países de todo el mundo están estudiando y probando el uso de la energía nuclear para producir hidrógeno limpio, incluso para utilizarlo en la producción de acero —dice Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoelectrica del OIEA—. Con la aparición de tecnologías de electrolizadores nuevas y más eficientes, y con el despliegue de tecnologías de reactores avanzados en el horizonte, como los reactores de alta temperatura, la energía nuclear está en condiciones de contribuir significativamente a la producción de hidrógeno limpio y la descarbonización de la producción de acero y de otras industrias”.

# Aprovechar la energía nucleoelectrica para la desalación con el fin de asegurar los recursos de agua dulce

Omar Yusuf

El agua está en el centro de la crisis climática. Se prevé que el aumento del nivel del mar, las inundaciones y las sequías cada vez más frecuentes y la reducción de la superficie glaciar y la capa de nieve limitarán el acceso a las fuentes de agua potable. Sin soluciones para mitigar estos y otros efectos del cambio climático, la escasez de agua supondrá una amenaza cada vez mayor para la calidad de vida a escala mundial. La demanda de agua dulce para beber y para usos industriales no se limita a los países sin litoral, sino que también alcanza a los pequeños Estados insulares en desarrollo y a los países con grandes territorios costeros.

Las centrales nucleares podrían ofrecer una solución a la vez que cumplen un doble propósito: producir electricidad con bajas emisiones de carbono y convertir el agua de mar en agua dulce. “Las aplicaciones no eléctricas alimentadas con energía nuclear, como la desalación, ofrecen soluciones sostenibles para una serie de tareas que requieren mucha agua a las que se enfrentarán las generaciones actuales y futuras, desde las necesidades de consumo de millones de hogares y las aplicaciones industriales del agua dulce hasta la agricultura y la ganadería”, afirma Francesco Ganda, Jefe Técnico de Aplicaciones No Eléctricas en el OIEA.

El OIEA lleva casi 30 años prestando apoyo a los países en sus esfuerzos por mejorar el suministro y la calidad del agua limpia, así como el acceso a esta, mediante la desalación nuclear, un proceso que utiliza el calor y la electricidad producidos por una

central nuclear para eliminar la sal y los minerales del agua de mar a través de la destilación o la separación por membranas, principalmente por ósmosis inversa. La desalación mediante energía nucleoelectrica es menos intensiva en carbono y es competitiva en términos de costos frente a métodos alternativos, como las técnicas que utilizan combustibles fósiles. La India, el Japón y Kazajstán son los países con más experiencia en materia de desalación nuclear, con cientos de años-reactor de operaciones exitosas en su haber. Esta solución ofrece un camino viable y económico para abastecer de agua potable a miles de comunidades. “Las centrales nucleares podrían ayudar a satisfacer la creciente demanda de agua potable y dar esperanza a las zonas que sufren una grave escasez de agua en muchas regiones áridas y semiáridas”, añade el Sr. Ganda.

En 1996 el OIEA creó su primer grupo asesor sobre desalación nuclear, que contribuyó a fomentar el debate sobre las actividades de desalación nuclear y sirvió de foro para que los países intercambiaron sus experiencias en el uso de centrales nucleares para desalar agua. Desde entonces el interés mundial por la desalación de agua de mar mediante la energía nuclear no ha dejado de crecer.

“Cada vez son más los países que se plantean seriamente la posibilidad de utilizar la desalación mediante energía nuclear para satisfacer sus necesidades de agua, evitando a su vez generar emisiones de carbono —indica el Sr. Ganda—. Dado que la desalación es una tecnología que consume mucha

**Las plantas de desalación nuclear, como la que se observa en la imagen, situada en el Complejo Nucleoelectrico de Karachi (Pakistán), han demostrado ser una opción viable para satisfacer la creciente demanda de agua potable.**

(Fotografía: Comisión de Energía Atómica del Pakistán)



energía, es imprescindible alimentarla con fuentes a gran escala que no produzcan emisiones de carbono, como la energía nuclear, para seguir proporcionando acceso esencial al agua limpia a un número cada vez mayor de personas en todo el mundo y, al mismo tiempo, hacer frente al cambio climático y cumplir los compromisos de emisiones netas cero. El OIEA encabeza los esfuerzos por apoyar a los países en la consecución de estos objetivos”.

Para fomentar y acelerar la adopción de medidas en este ámbito científico, el OIEA ha desarrollado y puesto en marcha dos programas informáticos: el Programa de Evaluación Económica de la Desalación y el Programa de Optimización Termodinámica de la Desalación. Ambos están diseñados para que los expertos puedan realizar análisis económicos, termodinámicos y de optimización de distintas fuentes de energía cuando se combinan con diversos procedimientos de desalación.

### **Sacar el máximo partido a la desalación**

En 2022, a través de su programa de cooperación técnica, el OIEA celebró un curso nacional de capacitación en Ammán (Jordania) con el fin de crear capacidad en el uso de reactores modulares pequeños (SMR) para desalar agua. Por conducto de la Plataforma del OIEA sobre Reactores Modulares Pequeños y sus Aplicaciones, la Comisión de Energía Atómica de Jordania (JAEC) solicitó un examen por expertos del OIEA en materia de energía nucleoelectrica de un estudio sobre desalación nuclear en el que se utilizan SMR.

“En Jordania la desalación se considera la principal fuente de agua dulce para satisfacer la demanda prevista y reducir el déficit entre la oferta y la demanda”, expresa Khalid

Khasawneh, Comisario de Reactores Nucleares de la JAEC. En el estudio se determinó que es viable utilizar la energía nuclear para la desalación en Jordania, y el Sr. Khasawneh añadió que este proceso “ofrece a los consumidores finales agua dulce a un precio competitivo frente a las fuentes de energía importadas”.

En octubre de 2023, el OIEA organizará en Moscú un curso interregional de capacitación para analizar los aspectos del diseño de los proyectos de cogeneración mediante SMR y microrreactores, en los que la electricidad o el calor generados se emplean para alimentar el proceso de desalación.

Una serie de publicaciones técnicas concebidas para presentar a los expertos los aspectos económicos, de diseño y de seguridad de la desalación de agua de mar mediante energía nucleoelectrica complementan el programa informático de análisis, el conjunto de instrumentos del OIEA sobre desalación nuclear y la capacitación impartida por el OIEA. A fin de impulsar la innovación en este ámbito, el OIEA también ha concluido varios proyectos coordinados de investigación relacionados con la desalación.

El OIEA sigue organizando actividades para mejorar la forma en que los reactores nucleares actuales y futuros pueden contribuir a mejorar el acceso al agua limpia mediante tecnologías de desalación descarbonizadas que utilizan la energía nucleoelectrica. El año pasado, el OIEA puso en marcha un nuevo proyecto de investigación para evaluar diversas aplicaciones de la cogeneración nuclear, entre ellas la desalación nuclear, y estudiar por qué y cómo los países podrían considerar la cogeneración nuclear como parte de su abanico de opciones para hacer frente al cambio climático.

# Descarbonizar las industrias con la ayuda de microrreactores y reactores nucleares pequeños

Emma Midgley

Desde el cemento y el transporte hasta la producción de petróleo, gas y acero, las industrias están explorando y cambiando sus prácticas para reducir las emisiones y llevar sus operaciones hacia las emisiones netas cero. En este sentido, las nuevas soluciones de energía nuclear están surgiendo como una opción clave.

Las operaciones iniciales de los procesos de producción — como la extracción de gas y petróleo mediante la perforación, el bombeo y la fracturación hidráulica— precisan de inmensas cantidades de energía, actualmente generada a partir de combustibles fósiles. Las operaciones posteriores —como el refinado y el procesamiento de estos materiales para su utilización como combustible o para su uso en productos como fármacos o fertilizantes— también necesitan calor y electricidad que se generan, en gran medida, a partir de combustibles fósiles.

“En la mayoría de las operaciones de petróleo y gas se queman combustibles fósiles para producir la energía necesaria para las operaciones iniciales y posteriores —afirma Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA—. Para disminuir las emisiones de carbono procedentes de estos procesos, lo ideal sería electrificar la perforación, la licuefacción del gas natural y el refinado con fuentes de bajas emisiones de carbono, como la energía nuclear”.

Muchas operaciones relacionadas con el petróleo y el gas, la perforación y la extracción se producen en lugares alejados y, en muchos casos, no es posible

alimentar estos procesos con electricidad proveniente de la red. Es aquí donde los microrreactores o los reactores modulares pequeños (SMR) podrían proporcionar una alternativa con bajas emisiones de carbono.

“Las empresas con procesos de refinado y operaciones de perforación necesitan la energía nuclear. Se trata de procesos con mucha intensidad carbónica y, en el 30 % de los casos, la red eléctrica no puede llegar a las zonas en las que se lleva a cabo la extracción o el refinado —expone Chirayu Batra, Oficial Jefe de Tecnología de Terra Praxis, una organización sin fines de lucro centrada en soluciones de descarbonización para sectores en los que esta tarea resulta difícil, como los del carbón, el calor industrial y el transporte pesado—. Quemar diésel y gas para producir la energía necesaria para estas operaciones constituye una pérdida empresarial para la industria y supone un aumento de las emisiones de carbono. Existe una forma de electrificar estos procesos mediante un fuente de energía remota, fiable y libre de emisiones de carbono. Los microrreactores se podrían utilizar en la mayoría de los lugares, incluso mar adentro, si se colocaran en barcos o plataformas flotantes”.

## Operaciones eficientes y limpias

Si bien es posible desplegar los SMR y los microrreactores en lugares alejados, los SMR también tienen importantes usos en industrias como la fabricación de plásticos y otras formas de procesamiento industrial en las que se utiliza el calor. Los reactores nucleares de potencia actuales generan



grandes cantidades de calor, pero aproximadamente entre el 60 % y el 70 % de este se libera al medio ambiente debido al vapor para la eficiencia de la conversión eléctrica.

Una forma de utilizar la energía nucleoelectrónica de forma más eficiente y reducir a su vez las emisiones de carbono consiste en utilizar en procesos industriales o químicos el calor generado por reactores nucleares. El Programa de Demostración de Reactores Avanzados del Departamento de Energía de los Estados Unidos está apoyando el desarrollo de un SMR de alta temperatura refrigerado por gas para su despliegue en un complejo de fabricación de productos de consumo.

La empresa química Dow Inc. prevé sustituir motores de combustión de gas y de vapor por un SMR como parte de su compromiso de reducir las emisiones de carbono en un 30 % de aquí a 2030. El objetivo de esta empresa es lograr la neutralidad en carbono de aquí a 2050.

Un reactor nuclear de alta temperatura, capaz de producir calor a 750 grados Celsius, es particularmente adecuado como método de bajas emisiones de carbono para producir olefinas, compuestos químicos que se pueden utilizar como materiales iniciales para la fabricación de plásticos, detergentes y adhesivos. El SMR que pretende instalar Dow estará ubicado en un lugar de fabricación existente en Seadrift, Texas, y se prevé que reduzca las emisiones en ese lugar en aproximadamente 440 000 toneladas de dióxido de

carbono al año. El SMR se utilizará para proporcionar calor industrial para la elaboración de productos como el polietileno, empleado en embalajes, pinturas y espumas.

Está previsto que la construcción del proyecto de cuatro reactores comience en 2026 y se espera que haya finalizado para finales de la década. Gracias a este proyecto, “Dow podrá dar un gran paso adelante para reducir nuestras emisiones de carbono y, a su vez, proporcionar a nuestros clientes y la sociedad productos con una menor huella de carbono”, señala Jim Fitterling, Presidente y Director General de Dow. La iniciativa “servirá como ejemplo importante de cómo el sector empresarial puede descarbonizarse de forma segura, eficaz y asequible”, añade.

El OIEA ayuda a coordinar los esfuerzos de países de todo el mundo encaminados a desarrollar SMR y microrreactores, reuniendo a expertos, gobiernos y órganos reguladores a fin de intensificar el despliegue tecnológica y físicamente seguro de esta nueva tecnología. El OIEA puso en marcha su Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear (NHSI) en junio de 2022 y la Plataforma del OIEA sobre Reactores Modulares Pequeños y sus Aplicaciones (Plataforma sobre SMR) en 2021. La NHSI tiene como objetivo promover la armonización y normalización del diseño, la construcción y los enfoques regulatorios e industriales relacionados con los SMR, mientras que la Plataforma sobre SMR apoya todos los aspectos relativos al desarrollo, el despliegue, la concesión de licencias y la supervisión de este tipo de reactores.



**El Departamento de Energía de los Estados Unidos está apoyando el desarrollo de un reactor modular pequeño para su despliegue en un complejo de fabricación de productos de consumo en Texas.**

(Imagen: Dow y X-energy)

# Aprovechar la promesa de la fabricación aditiva para los reactores nucleares avanzados

Lucy Ashton

Imagine la posibilidad de imprimir un núcleo de reactor nuclear —o pastillas de combustible nuclear— en 3D. Por descabellado que parezca, con la impresión 3D podrían obtenerse materiales lo bastante robustos como para soportar el entorno extremo al que está expuesto un reactor nuclear: esto es lo que muchos expertos consideran necesario para acelerar el despliegue de reactores avanzados y maximizar la contribución de la energía nuclear a la lucha contra el cambio climático.

Utilizada ya en algunas industrias, la impresión 3D es una forma de fabricación aditiva que consiste en un proceso de impresión de objetos por acumulación de capas de material, contrariamente a lo que sucede en la fabricación sustractiva, en la que se corta o quema el material excedente. La impresión 3D funciona directamente a partir de planos digitales y se controla por computadora, lo que permite producir formas intrincadas que antes eran difíciles o imposibles de lograr. Este método de fabricación es más rápido, genera menos restos, disminuye las posibilidades de error y a menudo permite a los diseñadores reducir el peso de los objetos, todas ellas cualidades que podrían rebajar sustancialmente los costos de fabricación.

“En el futuro, el uso de la impresión 3D y otras técnicas de fabricación avanzada podría ser muy corriente en la industria nuclear, como ya ocurre en las industrias aeronáutica y automovilística —afirma Aninda Dutta Ray, ingeniero nuclear que trabaja en fabricación avanzada en el OIEA—. Sin duda la posibilidad existe. Ya se han dado los primeros pasos: se está realizando un intenso trabajo de investigación y examen tomando los códigos y las normas de diseño nuclear vigentes como punto de partida, mientras que algunos reguladores incluso han empezado a redactar orientaciones para sus licenciarios”.

## Introducción y ensayo de las impresiones 3D

Como ocurre en la mayoría de los procesos de fabricación nuevos, los primeros pasos son pequeños, lentos y cautelosos. En la industria nuclear ya se han visto algunas primeras aplicaciones, como el impulsador de bombas impreso en 3D que se instaló en un reactor de Eslovenia en 2017. El

componente similar a un ventilador o una turbina impulsa el agua a través de la bomba. Se imprimió en 3D porque los planos originales del componente no estaban disponibles.

En los Estados Unidos de América, el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL) está desarrollando tecnologías de impresión 3D para el ámbito nuclear y otras industrias. En una prueba inédita, el ORNL imprimió unos apliques denominados cierres de canal. Las piezas se instalaron en un reactor nuclear en 2021, donde permanecerán hasta 2027, momento en que serán extraídas e inspeccionadas para evaluar su desempeño en las condiciones del reactor. En 2022 la empresa multinacional francesa Framatome instaló el primer componente combustible de acero inoxidable impreso en 3D en la central nuclear sueca de Forsmark. Además, hace poco la Federación de Rusia construyó una impresora 3D que puede imprimir objetos de hasta 2,2 metros de diámetro y 1 metro de altura, mientras que la República de Corea está utilizando la impresión 3D para fabricar artículos como componentes de válvulas especiales de control.

Como la impresión 3D no se inventó pensando en la industria nuclear, las técnicas de fabricación se están adaptando a las necesidades del sector. Mientras que las organizaciones industriales de normalización están elaborando normas para la impresión 3D en otras industrias, todavía se está trabajando en las del sector nuclear.

Según el Sr. Dutta Ray, determinar los mejores métodos de ensayo, normalizarlos en todo el mundo y obtener la aprobación de los organismos reguladores probablemente sea más difícil que la propia innovación en las técnicas de fabricación y su perfeccionamiento. En Europa, el proyecto NUCOBAM (NUclear COmponents Based on Additive Manufacturing), que reúne a un grupo de 13 organizaciones de 6 países europeos, está llevando a cabo investigaciones para definir el proceso de cualificación y evaluación que permitiría utilizar la impresión 3D en las centrales nucleares.

Asimismo, el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica (EPRI) colabora con fabricantes y el Departamento de Energía de los Estados Unidos para realizar investigaciones con el





Estos soportes del conjunto combustible, fabricados por el Laboratorio Nacional de Oak Ridge (ORNL) en asociación con Framatome y la Autoridad del Valle de Tennessee, son los primeros componentes relacionados con la seguridad impresos en 3D que se insertarán en una central nuclear.

(Fotografía: F. List/ORNL, Departamento de Energía de los Estados Unidos)

fin de racionalizar la aceptación reglamentaria de nuevas tecnologías, como la impresión 3D. Estas investigaciones se centran en la aplicabilidad de las tecnologías de fabricación avanzadas, la elaboración de códigos y normas, y el apoyo a exámenes reglamentarios con resultados de ensayos independientes sobre el comportamiento de los materiales frente a la degradación ambiental. “La demanda de cadenas de suministro alternativas y de un despliegue acelerado está aumentando notablemente a medida que la industria energética continúa su transición hacia sistemas energéticos avanzados, como los reactores avanzados —señala Marc Albert, Jefe Principal del equipo del EPRI encargado de proyectos de fabricación avanzada—. La fabricación aditiva y otros métodos de fabricación avanzada permiten acelerar el despliegue de las tecnologías limpias”.

### Función del OIEA

Una de las funciones del OIEA es fomentar la cooperación internacional y el intercambio de conocimientos. En abril de 2023, el OIEA presentó la Red Internacional sobre Innovación en Apoyo de las Centrales Nucleares en Funcionamiento (ISOP). La ISOP es una red inclusiva que sirve de plataforma para que los países colaboren en diversos temas relacionados

con la innovación, incluidas técnicas de fabricación avanzada como la impresión 3D.

En junio de 2022, el OIEA también puso en marcha su Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear (NHSI), centrada en facilitar el despliegue de reactores nucleares avanzados y reactores modulares pequeños tecnológica y físicamente seguros. La NHSI tiene como objetivo armonizar los enfoques de reglamentación y elaborar enfoques industriales más normalizados, entre ellos, enfoques comunes relativos a los códigos y las normas nucleares aplicables a la fabricación aditiva para SMR.

“La innovación colaborativa es la clave para que la próxima generación de tecnología nuclear pase del laboratorio al mundo de forma segura lo antes posible y podamos contribuir así a los objetivos de cero emisiones netas —afirma Ed Bradley, Jefe del Grupo del OIEA para la Explotación de Centrales Nucleares y el Apoyo de Ingeniería—. Difundir hallazgos, técnicas y conocimientos ahorra tiempo y recursos porque elimina la necesidad de que cada nación nuclear lleve a cabo el mismo ensayo o invierta dinero en resolver los mismos problemas. Así es como triunfaremos”.

## Alimentar el futuro:

### creación de cadenas de suministro de combustible para los SMR y los reactores avanzados

Lucy Ashton

Los ingenieros se están preparando para la próxima generación de reactores nucleares de potencia, concebidos para mejorar la seguridad energética y mitigar el cambio climático. Muchos diseños de reactores avanzados, incluidos los reactores modulares pequeños (SMR), necesitarán combustible de uranio poco enriquecido de alta concentración (UPEAC), cuyo contenido de uranio 235 oscila entre el 5 % y el 20 %, es decir, por encima del nivel del 5 % con que se alimenta la mayoría de las centrales nucleares en funcionamiento.

“Gracias al combustible de UPEAC conseguiremos diseños más pequeños, ciclos de funcionamiento más largos y aumentos de la eficiencia —afirma Olena Mykolaichuk, Directora de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Tecnología de los Desechos del OIEA—. Sin embargo, para aprovechar todas las ventajas del combustible de UPEAC, algunos países están aumentando la capacidad de producción a fin de garantizar que haya suficiente suministro, algo que será fundamental para el despliegue de los SMR”.

El UPEAC se produce en la Federación de Rusia y los Estados Unidos de América, principalmente para su uso en reactores de investigación y para su posible uso en reactores de agua ligera en funcionamiento. La instalación de Rusia es la única que fabrica UPEAC a escala comercial en la actualidad.

El año pasado, la Agencia de Abastecimiento de Euratom elaboró un informe sobre el futuro suministro de combustible para reactores de investigación europeos convertidos para que utilicen UPEAC o que se convertirán pronto para usar ese combustible. Tradicionalmente, los reactores de investigación de Europa se han alimentado con uranio muy enriquecido. El suministro de combustible para los reactores de investigación convertidos para que utilicen UPEAC procede de Rusia y de los EE. UU., y este último país afirma que solo puede garantizar este suministro hasta 2035 o 2040 debido a la actual falta de capacidad de producción de UPEAC, lo que aumenta el riesgo de escasez de suministro para los reactores de investigación que se conviertan en el futuro.

La Agencia de Abastecimiento de Euratom estima que, para 2035, la Unión Europea necesitará entre 700 kilogramos y una tonelada de UPEAC al año para mantener en funcionamiento

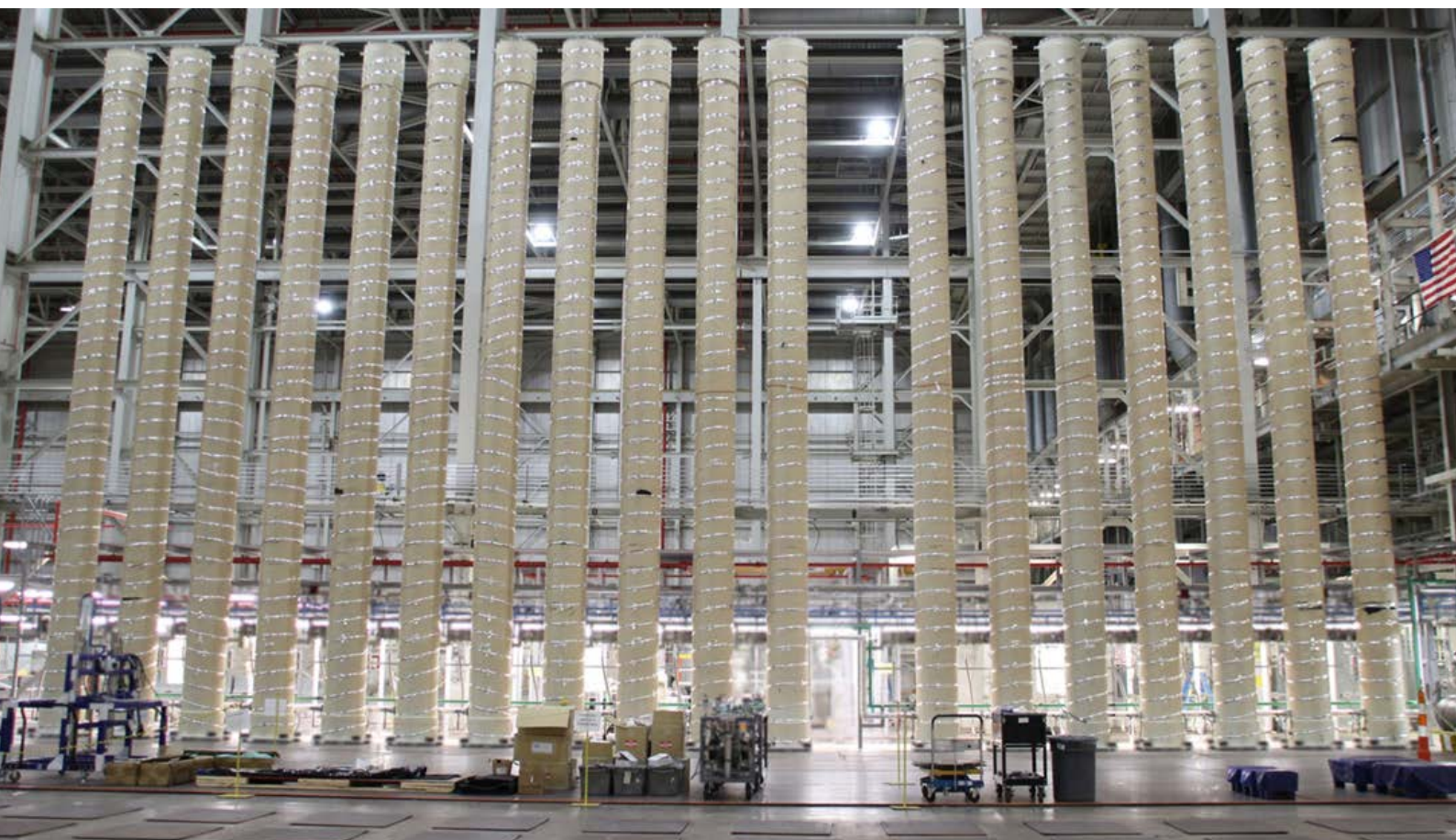
sus reactores de investigación. Esta estimación no incluye ninguna demanda futura de reactores avanzados que se utilicen para la generación de electricidad. Por consiguiente, la Euratom recomienda que la UE desarrolle su propia capacidad de producción de combustible de UPEAC, debido a la preocupación por la futura seguridad de los suministros.

Aunque la producción de UPEAC no está todavía en el horizonte europeo, los mayores productores de combustible nuclear del continente son líderes mundiales en tecnología de enriquecimiento. Estos productores enriquecen actualmente el uranio hasta un 6 % y, según el informe de la Agencia de Abastecimiento de Euratom, podrían utilizar la misma tecnología para producir UPEAC sin grandes problemas técnicos.

Sin embargo, la concesión de licencias, la construcción, la seguridad y la operación de este tipo de instalaciones requieren una importante inversión y los productores europeos dicen que todavía tienen que comprobar la viabilidad comercial de esa inversión. Las compañías europeas podrían empezar a producir UPEAC en tan solo cinco años, y se están estudiando planes para ampliar una planta francesa ya existente y para construir nuevas instalaciones en el Reino Unido y los EE. UU.

No obstante, la industria nuclear de los EE. UU. advierte de que el despliegue de algunos diseños de SMR puede retrasarse años debido a la falta de UPEAC. Actualmente, nueve de cada diez diseños de reactores avanzados financiados por el Gobierno estadounidense necesitarán combustible de UPEAC en la próxima década. Según las previsiones del Departamento de Energía de los Estados Unidos, para 2030 se necesitarán más de 40 000 kilogramos de UPEAC, cantidad que aumentará año tras año a medida que entre en funcionamiento el nuevo parque de reactores avanzados.

Para responder a esta necesidad, el Departamento de Energía de los Estados Unidos está invirtiendo en la línea de producción nacional de UPEAC. Ha creado un consorcio UPEAC y ha cofinanciado una planta de producción de demostración en Piketon (Ohio). En junio de 2023, la autoridad reguladora estadounidense autorizó el inicio de las operaciones de enriquecimiento en la instalación de Piketon.



**El Departamento de Energía de los Estados Unidos de América ha invertido en la producción nacional de combustible de uranio poco enriquecido de alta concentración (UPEAC). Se prevé que el programa de demostración UPEAC, situado en Piketon (Ohio), producirá 20 kilogramos de UPEAC para finales de 2023.** (Fotografía: Centrus Energy Corporation)

Se prevé que la cascada de centrifugadoras de UPEAC de Piketon produzca 20 kilogramos de UPEAC a finales de 2023 y 900 kilogramos en 2024. Una cascada de UPEAC a gran escala de 120 centrifugadoras individuales tiene una capacidad combinada de aproximadamente 6000 kilogramos anuales de UPEAC.

Como complemento, se está empezando a producir para su uso otro tipo de combustible de UPEAC degradando las reservas gubernamentales de uranio muy enriquecido. El combustible tri-isotrópico (TRISO) en partículas está compuesto por uranio, carbono y oxígeno recubiertos por tres capas de materiales a base de carbono y cerámica que impiden la emisión de productos de fisión radiactivos. A estas partículas se les puede dar forma de esferas del tamaño de

una bola de billar o de pastillas cilíndricas. El combustible TRISO-UPEAC se utiliza en reactores de alta temperatura refrigerados por gas, y algunos proveedores tienen previsto utilizar combustible TRISO-UPEAC para sus diseños de SMR y de microrreactores.

“Para la próxima generación de tecnologías nucleares harán falta nuevas cadenas de suministro para nuevos tipos de combustible —explica Ki Seob Sim, Especialista en Ingeniería del Combustible Nuclear del OIEA—. Se está trabajando para crear esas cadenas de suministro, pero aún queda mucho más por hacer, como demostrar la viabilidad comercial de estos reactores avanzados en muchas regiones, si queremos garantizar el suministro necesario de combustible de UPEAC. Aun así, estoy convencido de que lo lograremos”.

# Mejora de la producción de energía nucleoelectrónica gracias a la inteligencia artificial

Wolfgang Picot

La inteligencia artificial (IA) ofrece posibilidades prometedoras para el avance de la producción de energía nuclear. Estos sofisticados sistemas informáticos imitan la lógica humana a la hora de resolver problemas y tomar decisiones. Gracias a su capacidad para mejorar la eficiencia, la automatización, la seguridad y el mantenimiento predictivo, así como para optimizar los procesos, la IA ya avanza a pasos agigantados en algunas esferas del ámbito nuclear.

“Inteligencia artificial” es un término genérico que engloba distintas tecnologías desarrolladas a lo largo de varias décadas. Incluye desde programas informáticos sencillos, como filtros *antispam*, hasta conceptos más avanzados como el aprendizaje automático, en el que las computadoras aprenden a partir de experiencias pasadas mediante un entrenamiento exhaustivo con grandes cantidades de datos. La llegada de microchips de gran potencia permitió desarrollar el aprendizaje profundo, basado en redes neuronales artificiales inspiradas en el cerebro humano.

La IA generativa, un subcampo del aprendizaje profundo, ha captado la atención pública creando textos, imágenes y videos originales. Es muy versátil y se puede adaptar a muchas funciones o actividades diferentes.

“Es normal el entusiasmo que existe ante todo lo que pueden hacer los instrumentos generativos —reflexiona Jeremy Renshaw, quien dirige la innovación en materia de IA, cuántica y nuclear en el Instituto de Investigación de Energía Eléctrica, conocido como EPRI—. Los modelos existentes ya son muy potentes y se está trabajando mucho para desarrollar instrumentos nuevos y mejores”.

La IA generativa puede ayudar con las tareas administrativas, pero, al igual que sucede en otras industrias, todavía no es posible utilizarla en centrales nucleares en funcionamiento debido a su carácter novedoso y su falta de transparencia, pues todavía no se conoce a ciencia cierta cómo funcionan y extraen conclusiones las redes artificiales. Existen unos sistemas más transparentes llamados IA explicable que apuntan a un posible uso más amplio en las operaciones de las centrales nucleares. Se están logrando avances en ese tipo de IA, y el Sr. Renshaw confía en que, cuando se concreten, se podrá utilizar la IA en centrales nucleares en un futuro próximo.

## Aplicaciones del aprendizaje automático

El aprendizaje automático se aplica desde hace algún tiempo en la industria nuclear y ha demostrado ser útil en diversas esferas. Los operadores emplean los algoritmos de aprendizaje automático para la monitorización en tiempo real y el mantenimiento predictivo. Los modelos de aprendizaje automático filtran una gran cantidad de datos de sensores, lo que permite a los analistas humanos centrar su atención en las posibles irregularidades en una fracción del total de los datos. “El personal de inspección solo tiene que evaluar los datos pertinentes. En vez de buscar ‘la aguja en el pajar’, eliminamos el pajar”, explica el Sr. Renshaw.

Esta tecnología no sustituye el análisis humano, pero permite obtener resultados más exactos con mayor rapidez, al tiempo que requiere una menor —aunque todavía indispensable— interacción humana. El aprendizaje automático ya se está aplicando para detectar grietas en tuberías y tanques de metal en

las centrales nucleares. Gracias a la mayor precisión, así como a la reducción de costos y la optimización de la supervisión humana que trae consigo, el aprendizaje electrónico promete reportar grandes beneficios al sector nucleoelectrónico.

Las posibles aplicaciones de la IA en las centrales nucleares son inmensas. Esta podría, por ejemplo, aumentar la eficiencia y garantizar un suministro constante de electricidad ajustando la generación de electricidad sobre la base de datos en tiempo real, como la demanda de los consumidores, el tiempo meteorológico y el rendimiento de los equipos. Las tareas rutinarias podrían automatizarse mediante la robótica y sistemas de IA, lo que permitiría centrar la intervención humana en tareas de alto valor y mejorar la eficiencia de la central. También podría optimizar el consumo de combustible y maximizar la producción de energía de los reactores.

“La IA, junto con otras tecnologías, como los gemelos digitales, podría ser decisiva para potenciar la eficiencia de la producción nucleoelectrónica”, afirma Nelly Ngoy Kubelwa, ingeniera nuclear especializada en tecnología innovadora en el OIEA. Un gemelo digital es una representación digital de un objeto físico, una persona o un proceso, y puede simular situaciones reales y sus resultados.

Según explica la Sra. Ngoy Kubelwa, en la industria existe un gran interés en las soluciones de IA, pero antes de poder utilizar cualquier tecnología nueva en las centrales nucleares, los reguladores tienen que conocerla y entenderla a fondo para elaborar orientaciones y conceder licencias y permisos para su uso.

“Se está debatiendo mucho si la IA, y especialmente la IA generativa, es algo tan novedoso que necesitamos un enfoque totalmente nuevo para regularla o si podemos adaptar las normas vigentes —dice la Sra. Ngoy Kubelwa—. Para desplegar esta tecnología tenemos que elaborar marcos en colaboración con los reguladores”.

Desde 2021 el OIEA ha respaldado las posibles aplicaciones de la IA en las centrales nucleares, para lo cual elaboró un informe sobre la IA y posteriormente estableció grupos de trabajo en el marco de la Red Internacional sobre Innovación en Apoyo de las Centrales Nucleares en Funcionamiento (ISOP), que se centró en los aspectos técnicos y de reglamentación del despliegue de la IA. Una muestra más de este compromiso son las próximas publicaciones sobre las aplicaciones de la IA en la industria nuclear y sobre las implicaciones de seguridad de la IA en las centrales nucleares. El OIEA también encabeza un proyecto coordinado de investigación dedicado a estudiar cómo la IA y la tecnología innovadora pueden ayudar a agilizar el despliegue de los reactores modulares pequeños y está estudiando la opción de establecer centros colaboradores del OIEA centrados en la IA.

Para la Sra. Ngoy Kubelwa, esto no es una cuestión meramente técnica. “El uso de la IA y de otras tecnologías emergentes será una señal de que la industria nuclear está actualizada con los últimos avances —explica—. Es importante que actuemos proactivamente en esta esfera para captar el interés de la generación joven, que es fundamental para garantizar el futuro de la producción de energía nuclear”.

**El OIEA encabeza un proyecto coordinado de investigación dedicado a estudiar cómo la inteligencia artificial puede ayudar en el despliegue de los reactores modulares pequeños.**

(Imagen: Adobe Stock)

# Cuando los desechos nucleares son un recurso valioso en lugar de una carga

Lucy Ashton

¿Y si los desechos nucleares de actividad alta que generan las centrales nucleares pudieran impulsar una economía circular en el sector energético? Esto podría ser posible gracias a los reactores de neutrones rápidos que operan en un ciclo cerrado del combustible.

Los reactores de neutrones rápidos, en los que no hay un moderador, como el agua, que reduzca la velocidad de los neutrones para sostener la reacción de fisión en cadena, presentan ventajas con respecto a los reactores nucleares térmicos existentes. Cuando operan en un ciclo del combustible totalmente cerrado, en el que el combustible nuclear se recicla y se reutiliza, los reactores rápidos pueden llegar a extraer entre 60 y 70 veces más energía de la misma cantidad de uranio natural que los reactores térmicos, lo que reduce considerablemente la cantidad de desechos radiactivos de actividad alta.

“Cuando se utilizan reactores rápidos en un ciclo cerrado del combustible, un kilogramo de desechos nucleares puede reciclarse varias veces hasta que todo el uranio se haya utilizado y se hayan quemado los actínidos —que siguen siendo radiactivos durante miles de años—. Lo que queda entonces son unos 30 gramos de desechos que serán radiactivos de 200 a 300 años más”, explica Mikhail Chudakov, Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Energía Nuclear.

Los reactores rápidos se encuentran entre las primeras tecnologías utilizadas en los albores de la energía nucleoelectrónica, cuando se consideraba que los recursos de uranio eran escasos. Sin embargo, a medida que los problemas técnicos y materiales obstaculizaban el desarrollo y se descubrieron nuevos yacimientos de uranio, los reactores de agua ligera se convirtieron en la norma de la industria. En la actualidad, se están llevando a cabo en varios países iniciativas de fomento de la tecnología de los reactores rápidos, por ejemplo, en forma de reactores modulares pequeños (SMR) y microrreactores (MR).

A día de hoy, hay cinco reactores rápidos en funcionamiento: dos reactores en explotación (el BN-600 y el BN-800) y un reactor de ensayo (el BOR-60) en la Federación de Rusia, el Reactor Reprodutor Rápido de Ensayo en la India y el Reactor Experimental Rápido de China. La Unión Europea, el Japón, los Estados Unidos de América, el Reino Unido y otros países tienen en marcha proyectos de reactores rápidos adaptados a diversos objetivos y funciones, incluidos SMR y MR.

Para algunos países, operar reactores rápidos en un ciclo totalmente cerrado del combustible es la forma de garantizar la sostenibilidad de la energía nuclear a largo plazo.

El complejo energético experimental de demostración de Rusia, que se está construyendo en Seversk, está formado por un reactor rápido BREST-OD-300 refrigerado por plomo, una planta de fabricación y refabricación de combustible y una planta de reprocesamiento de combustible gastado de mezcla de nitruros de uranio y plutonio. También se construirá un repositorio geológico profundo. La importancia de este proyecto experimental no reside solo en demostrar la fabricación de combustible nuevo, su irradiación y posterior reciclado, sino en el hecho de que todo ello tenga lugar en un único emplazamiento.

“Tener todo el proceso del ciclo cerrado del combustible en un único emplazamiento es bueno para la seguridad nuclear tecnológica y física y las salvaguardias” —apunta Amparo González Espartero, Jefa Técnica del OIEA en materia del ciclo del combustible nuclear—. También debería ser más ventajoso en términos económicos, ya que no es necesario trasladar los desechos y materiales nucleares de un sitio a otro —como se hace actualmente en algunos países—, lo que reduce al mínimo los problemas de transporte y logística”.

Para tener un ciclo cerrado del combustible, sea cual sea su escala, se necesitan reactores rápidos y una infraestructura de reprocesamiento y reciclado. Debido a aspectos económicos y de salvaguardias, entre otras razones, es difícil que todos los países puedan tener plantas de reprocesamiento. A fin de reducir los costos, las instalaciones de reprocesamiento prestan servicios a otros países o los países comparten instalaciones.

Rusia también tiene previsto desplegar después de 2035 un reactor rápido de 1200 MW(e) de la próxima generación como parte de un sistema autosuficiente, junto con reactores de agua ligera. Con ayuda del reactor rápido, se reprocesará y reutilizará el combustible gastado de los reactores térmicos y, con ello, la huella final de los desechos será hasta diez veces menor que la del ciclo del combustible nuclear habitual.

Otros países tienen proyectos en curso. China está construyendo dos reactores rápidos refrigerados por sodio (CFR-600) en el condado de Xiapu, en la provincia de Fujian. La primera unidad está en fase de puesta en servicio y, según las previsiones, se conectará a la red en 2024. En los Estados Unidos de América se está llevando a cabo un proyecto de reactor rápido que cuenta con el respaldo del cofundador de Microsoft, Bill Gates. Aunque este reactor no funcionará en un ciclo cerrado del combustible, el país está trabajando para tener ciclos cerrados del combustible nuclear y utilizar sus



### La central nuclear de Beloyarsk, en la Federación de Rusia, acoge dos reactores rápidos.

(Fotografía: Rosenergoatom)

desechos nucleares existentes a fin de desarrollar su propio suministro de combustible. En Europa, el proyecto MYRRHA de Bélgica se centra en construir para 2036 un sistema activado por un acelerador refrigerado por plomo-bismuto en el que pondrá a prueba su capacidad para desintegrar los actínidos menores como parte de un futuro ciclo totalmente cerrado del combustible.

“Cada vez más, los países buscan formas de reciclar los recursos como el combustible nuclear gastado para poder alimentar su economía de forma limpia —dice Vladímir Kriventsev, Jefe del Grupo de Desarrollo de Tecnología de Reactores Rápidos del OIEA—. Esto se está dando en un momento en que las innovaciones tecnológicas en la ciencia de los materiales, y la física y la ingeniería de reactores han posibilitado diseños

mejores con unas características de seguridad mejoradas y una reducción de los costos de construcción y funcionamiento que mejoran los aspectos económicos de las centrales nucleares basadas en reactores rápidos”.

El OIEA desempeña un papel central en la prestación de apoyo al desarrollo y despliegue de los reactores rápidos por medio del intercambio de información y experiencias en el marco de proyectos coordinados de investigación, publicaciones técnicas, grupos de trabajo técnicos y conferencias. El Proyecto Internacional sobre Ciclos del Combustible y Reactores Nucleares Innovadores del OIEA también contribuye al avance de los reactores rápidos y los ciclos del combustible nuclear conexos prestando apoyo a los países en la planificación y la colaboración.

# El potencial a largo plazo del torio en la energía nuclear

Artem Vlasov

Las arenas de la India rebosan de potencial para impulsar el futuro libre de emisiones de carbono de este país. Dado que la India acoge las mayores reservas mundiales de torio, su estrategia de energía nucleoelectrica a largo plazo culmina en la explotación de este metal plateado y ligeramente radiactivo, que se considera más limpio y más eficiente que los combustibles nucleares convencionales.

“Desde el inicio del programa de energía nuclear de la India, el torio ha sido uno de los elementos que ha acaparado la atención de la investigación y el desarrollo”, manifiesta Anil Kakodkar, Rector Honorario del Instituto Nacional Homi Bhabha de Bombay (India). La India ha diseñado y está desarrollando un reactor alimentado con torio —el reactor avanzado de agua pesada— que, según el Sr. Kakodkar, servirá como demostración no solo del ciclo del combustible de torio, sino también de características de seguridad pasiva.

Pero la India no está sola en sus intenciones de aprovechar las singulares propiedades del torio. En junio de 2023, China emitió un permiso de operación para un reactor nuclear experimental alimentado con sales fundidas de torio. Construido en medio del desierto de Gobi, al norte del país, el reactor se someterá a pruebas durante los próximos años. Los Estados Unidos de América, el Japón, el Reino Unido y otros países también han demostrado entusiasmo con respecto a la investigación de la posible aplicación del torio en la energía nucleoelectrica.

## Desafíos del torio para la producción de energía

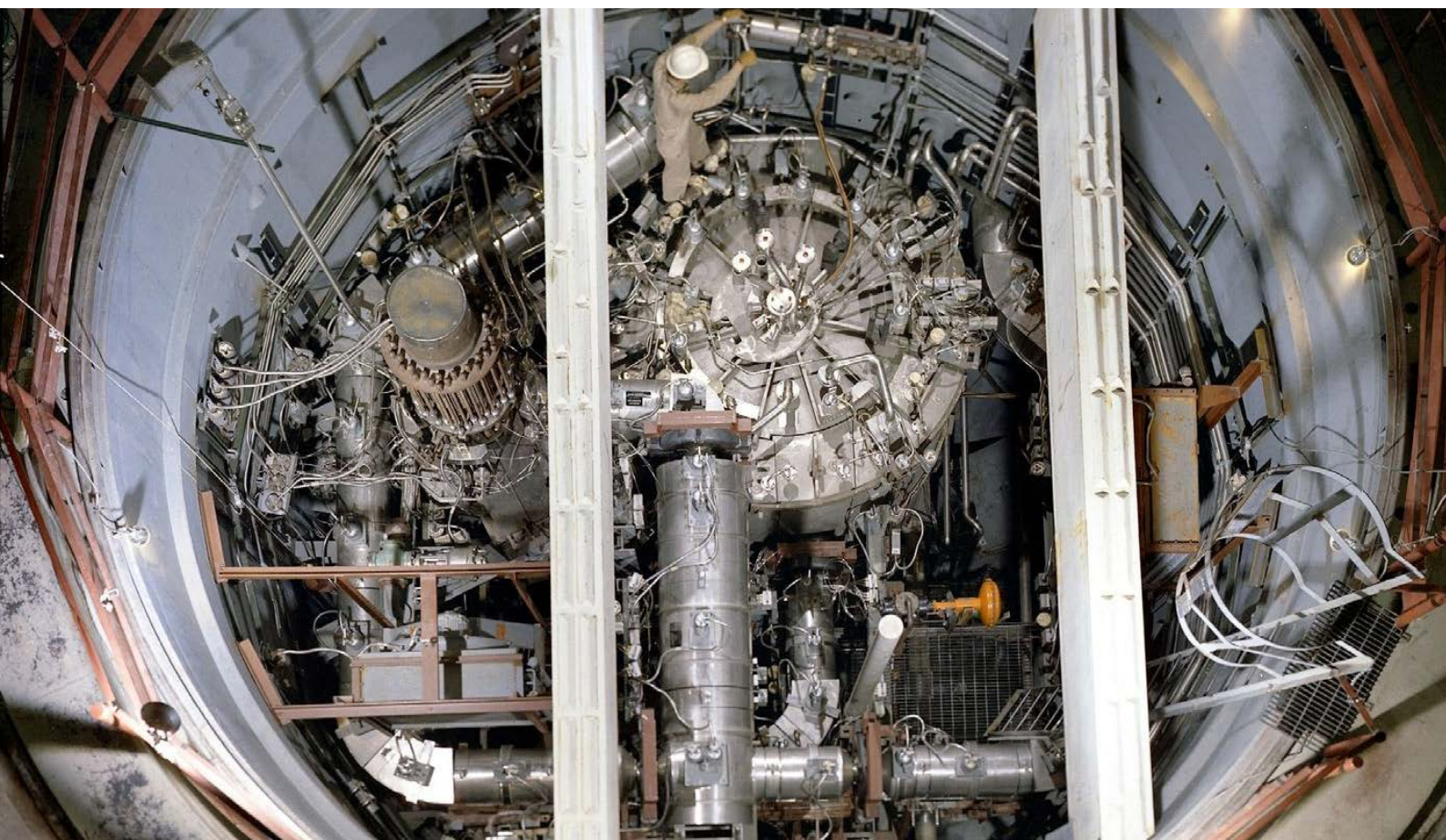
El torio, que suele encontrarse en rocas ígneas y arenas de minerales pesados, recibe su nombre por Thor, el dios del trueno en la mitología nórdica. Este elemento es tres veces más abundante en la naturaleza que el uranio, pero históricamente se le ha sacado poco provecho en la industria y en la generación de electricidad. Este hecho se debe en parte a que el torio no es un combustible nuclear per se; sin embargo, sí se puede utilizar para crear ese tipo de combustible. Se considera que el torio 232, el único isótopo natural del torio, es “fértil” para la fisión, lo que significa que necesita un elemento desencadenante, como el uranio o el plutonio, para iniciar y mantener una reacción en cadena. Al irradiarlo, el torio 232 sufre una serie de reacciones nucleares hasta finalmente formar uranio 233, que luego se puede dividir para liberar energía con la que impulsar un reactor nuclear.

No obstante, el uso de torio para la producción de energía no está exento de dificultades. Existen varios obstáculos económicos y técnicos que dificultan su aprovechamiento. Pese a su abundancia, se trata de un metal cuya extracción es actualmente costosa. “La monacita es un mineral que constituye una de las mayores fuentes de tierras raras y es también una de las principales fuentes de torio —afirma Mark Mihalasky, Especialista en Recursos de Uranio del OIEA—. De no ser por la actual demanda de tierras raras, no se extraería monacita solo por su contenido en torio. El torio es un subproducto y para su extracción se han de usar métodos más costosos que para extraer uranio. Sin embargo, esta situación podría cambiar si aumentaran la demanda de torio y su aplicación en la energía nucleoelectrica”.

Los costos de investigación, desarrollo y realización de pruebas relacionadas con las instalaciones nucleares que emplean torio también son elevados debido a la falta de experiencia al respecto y a que, durante muchos años, en el ámbito de la energía nucleoelectrica ha prevalecido el uranio. “Además, el torio es difícil de manipular tras la irradiación —señala Anzhelika Khaperskaia, Jefa Técnica de Ingeniería del Combustible e Instalaciones del Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA—. El combustible de torio requiere procesos de fabricación de combustible remotos más caros, en comparación con el combustible de uranio, debido a la presencia en el torio de productos de desintegración que emiten potentes radiaciones gamma. Además, el reprocesamiento del combustible de torio gastado es complejo. La disolución del dióxido de torio y el manejo de los productos gaseosos plantean dificultades, y estos procesos necesitan madurez a escala industrial. Debido al uso de fluoruros durante la disolución, el equipo de reprocesamiento también está sujeto a corrosión”.

Un proyecto coordinado de investigación del OIEA, de cuatro años de duración, se centró en las posibilidades de desarrollar energía nuclear a partir de torio; en él se examinaron los beneficios y desafíos que entraña el uso de torio como combustible y se analizó su aplicación en distintos tipos de reactores: desde los reactores refrigerados por agua —los más habituales— hasta los reactores de sales fundidas. Los resultados del proyecto se publicaron recientemente en el informe *Near Term and Promising Long Term Options for the Deployment of Thorium Based Nuclear Energy* (IAEA TECDOC 2009).





### Imagen cenital de un reactor nuclear experimental a base de torio.

(Fotografía: Laboratorio Nacional de Oak Ridge, Departamento de Energía de los Estados Unidos)

### ¿Qué puede ofrecer el torio?

El torio presume de varias ventajas con respecto al combustible nuclear convencional, el uranio 235. El torio puede generar más material fisible (uranio 233) que el que consume y, al mismo tiempo, alimentar un reactor refrigerado por agua o un reactor de sales fundidas; además, genera una cantidad inferior de actínidos menores de período largo que los combustibles de plutonio. Se estima que la corteza superior de la Tierra contiene un promedio de 10,5 partes por millón (ppm) de torio, frente a las aproximadamente 3 ppm del uranio.

“Dada su abundancia y su capacidad para generar material fisible, el torio podría ofrecer una solución a largo plazo para las necesidades energéticas de la humanidad”, explica Kailash Agarwal, Especialista en Instalaciones del Ciclo del Combustible Nuclear del OIEA y uno de los autores del informe del OIEA.

Además de que los reactores impulsados por torio —y la energía nucleoelectrónica en general— no emiten gases de efecto invernadero durante su explotación, otra de sus ventajas es que producen menos desechos nucleares de período largo que los reactores alimentados por uranio actuales.

# La reglamentación de los diseños de reactores innovadores

Nayana Jayarajan y Volha Piotukh

Los reglamentos actuales por los que se rige la industria nuclear se ajustan a los tipos de reactores que llevan funcionando desde que las primeras centrales nucleares comerciales empezaron a operar en la década de 1960. Esos reglamentos han evolucionado en función de la experiencia adquirida a lo largo de los últimos seis decenios. A medida que se desarrollan nuevos reactores nucleares avanzados, como los reactores modulares pequeños (SMR), las autoridades reguladoras trabajan para garantizar también la innovación de sus procesos, reglamentos y orientaciones, con el fin de que las tecnologías novedosas se desplieguen de manera tecnológica y físicamente segura.

Para Brian Smith, Director de la División de Licencias Nuevas y Renovadas de la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos y Presidente del Foro de Reguladores de SMR del OIEA, es prioritario formular reglamentos y orientaciones que sean neutros desde un punto de vista tecnológico. “En los Estados Unidos, durante más de 50 años solo hemos tenido grandes reactores de agua ligera y nuestros reglamentos están basados en esos tipos de reactores”, señaló el Sr. Smith. También manifestó que “si bien algunos SMR utilizan el agua ligera como refrigerante, otros son completamente distintos. Por este motivo, tenemos que crear un marco casi completamente nuevo para ellos; uno que sea neutro desde un punto de vista tecnológico y que esté basado en el conocimiento de los riesgos y en el rendimiento”.

Para abordar los desafíos que supone regular estas tecnologías innovadoras, los propios reguladores están explorando distintas estrategias, como examinar la aplicabilidad de la reglamentación vigente, priorizar la contratación de personal técnico con especializaciones diversas y aprender de las experiencias de solicitantes y otros reguladores.

“Algunos de estos diseños más nuevos utilizan materiales distintos dentro del reactor, como el grafito; algunos también alcanzan temperaturas más altas que las del parque actual (de reactores de agua ligera); por lo tanto, tenemos que contemplar estas cuestiones —declaró el Sr. Smith—. Disponer del personal técnico adecuado también ha sido difícil, no solo para nosotros, sino para todos los reguladores. Para estos diseños más nuevos, es imprescindible contar con expertos técnicos que estén familiarizados con distintas tecnologías nuevas, de modo que puedan evaluar los aspectos de seguridad del reactor en sí”.

Otra estrategia exitosa ha sido alentar la colaboración previa a la solicitud, también conocida como exámenes de diseños de proveedores o exámenes previos a la concesión de licencias.

Gracias a este enfoque, los reguladores pueden examinar la aplicabilidad de sus reglamentos a las especificaciones técnicas de diseños innovadores y los solicitantes pueden familiarizarse con los requisitos reglamentarios antes de iniciar el proceso formal de concesión de licencias. El Foro de Reguladores de SMR recomienda utilizar las interacciones entre reguladores y proveedores de reactores previas a la concesión de licencias para predecir o señalar puntos de mayor intervención reglamentaria que podrían pausar o demorar las actividades del licenciario.

## Armonización a través de la colaboración

Los SMR tienen un menor costo de capital inicial, menores necesidades de recursos y potencial en cuanto a las aplicaciones no eléctricas, lo que hace que sean cada vez más atractivos para los países que están iniciando o están considerando la posibilidad de iniciar un programa nucleoelectrico. Por ejemplo, Khaled Tukan, Presidente de la Comisión de Energía Atómica de Jordania señala que ese país está estudiando el uso de SMR en parte debido a que ha resultado difícil encontrar suficientes recursos hídricos para refrigerar una central nuclear convencional en una nación seca y sin litoral.

Para estos países, la colaboración internacional y la oportunidad de aprender de otros reguladores experimentados son primordiales para garantizar un programa nucleoelectrico tecnológica y físicamente seguro. El Foro de Reguladores de SMR, constituido en 2015, es un grupo internacional de reguladores que señalan y proponen soluciones a problemas de seguridad comunes que pueden dificultar los exámenes de la situación reglamentaria de los SMR.

Para el Sr. Smith, el Foro actúa como una plataforma importante para el intercambio de conocimientos y experiencias sobre la reglamentación de los SMR. El Foro organiza talleres regionales y elabora posiciones comunes sobre temas clave, que “luego podemos llevar a nuestros países para estudiar cómo podríamos cambiar o modificar nuestras propias orientaciones”.

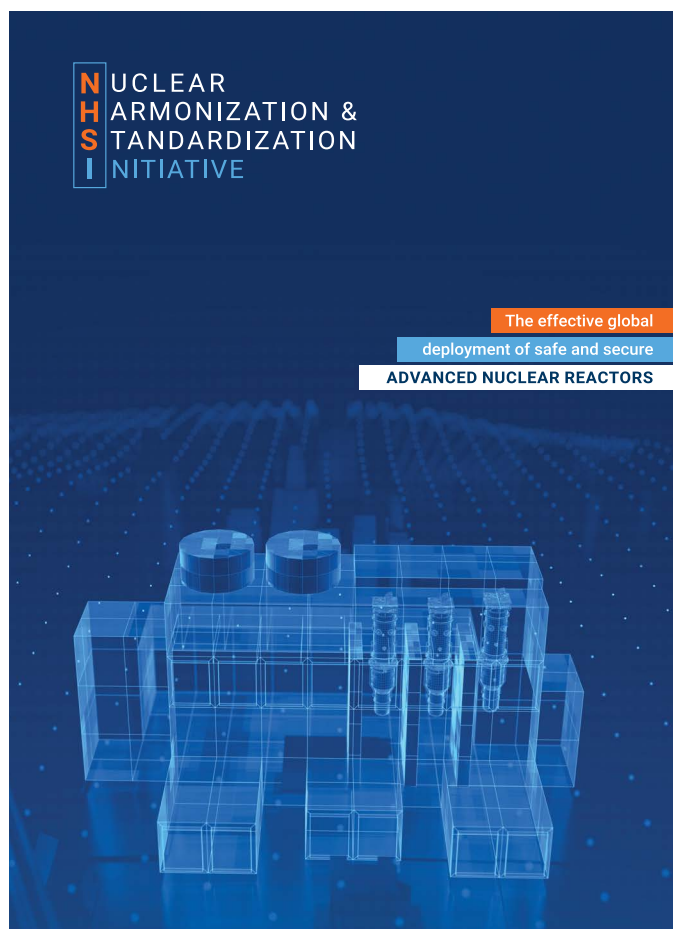
Dado que hay más de 80 diseños de SMR en fase de desarrollo en todo el mundo, el OIEA pretende promover el despliegue mundial eficaz de reactores nucleares avanzados tecnológica y físicamente seguros mediante la formulación de enfoques industriales reglamentarios y comunes armonizados a través de la Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear (NHISI).

El Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, reiteró la importancia de esta iniciativa del OIEA en el pleno de la NHSI en junio de 2023. “La armonización de enfoques facilita el comercio internacional de SMR y de componentes, puesto que los desarrolladores diseñan y fabrican reactores que cumplen con un conjunto más uniforme de normas mundiales, en lugar de tener que enfrentarse a multitud de conjuntos de requisitos —a veces contradictorios— en distintos países”, declaró.

El Sr. Grossi agregó que, dadas las décadas de experiencia cosechadas como centro fundamental en cuestiones de seguridad y reglamentación, el OIEA se hallaba en una posición idónea para fomentar la cooperación internacional respecto de marcos reguladores nacionales. “Con unos enfoques de reglamentación más armonizados, la cooperación internacional podrá ir a más y los países podrán aplicar elevados niveles de seguridad física y tecnológica”, afirmó. La NHSI, que se puso en marcha en junio de 2022, consta de dos vías separadas pero complementarias: la vía reguladora y la vía industrial. El Foro de Reguladores de SMR apoya la vía reguladora y está elaborando procesos para aprovechar los exámenes de concesión de licencias de otros reguladores y realizar exámenes conjuntos.

La vía reguladora de la NHSI también incluye un grupo de trabajo sobre la elaboración de un marco para el intercambio de información entre reguladores, así como otro centrado en un examen multinacional previo a la concesión de licencias. En la labor relativa al examen multinacional previo a la concesión de licencias, los reguladores trabajarían conjuntamente para señalar las dificultades que podrían plantearse en un diseño de reactor nuevo antes de presentar ese diseño al examen nacional para la concesión de licencias.

Informar al público y hacerlo participe son piedras angulares del desarrollo de la energía nucleoelectrónica. La información pública sobre la seguridad de los diseños de reactores innovadores —como los SMR— y la participación de las partes interesadas en esta cuestión serán fundamentales para el éxito de su despliegue. “Dado que estos reactores se pueden ubicar mucho más cerca de la población, es prioritario que los reguladores hagan participar al público y lo escuchen, sobre todo en los países en fase de incorporación al ámbito nuclear, donde este será su primer reactor —afirmó el Sr. Smith—. Los reguladores están superando este desafío mediante la creación de una cultura de apertura, profesionalidad y seguridad robusta, y haciendo hincapié en su independencia, en su transparencia y en su papel como fuente creíble de información oportuna, fiable y fácilmente accesible”.



La Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear, que se puso en marcha en junio de 2022, está formulando enfoques industriales reglamentarios y comunes armonizados.

## Verificación del combustible nuclear gastado en repositorios geológicos profundos

Eva Morela Lam Redondo

Mientras el mundo busca alternativas a los combustibles fósiles para luchar contra el cambio climático, varios países están elaborando programas nucleoelectrónicos a fin de hacerse con una fuente sostenible de energía con bajas emisiones de carbono. Los países con reactores nucleares en funcionamiento son responsables de ofrecer capacidad de disposición final geológica para los desechos radiactivos de actividad alta. Los repositorios geológicos profundos son el enfoque consolidado a nivel internacional para esta disposición final. El Canadá, Finlandia, Francia, Suecia y Suiza figuran entre los países con programas más avanzados de este tipo de repositorios.

Como ejemplos de las nuevas instalaciones en desarrollo cabe mencionar la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo de Finlandia: en la primera el combustible gastado se sellará de forma segura en contenedores de disposición final, mientras que en la segunda los contenedores se almacenarán de manera permanente y en condiciones de seguridad. Ambas instalaciones deben cumplir las obligaciones jurídicas internacionales de Finlandia para permitir la verificación por el OIEA del uso pacífico del material nuclear.

El OIEA cumple su misión de verificación nuclear mediante la aplicación de una serie de medidas técnicas — las salvaguardias— para supervisar las instalaciones, los materiales y las actividades nucleares. Estas medidas permiten al OIEA verificar de forma independiente que los Estados cumplen su responsabilidad jurídica de utilizar el material nuclear únicamente con fines pacíficos. Los Estados aceptan estas medidas por medio de la celebración de acuerdos de salvaguardias con el OIEA. En consecuencia, mediante la aplicación de las salvaguardias el OIEA puede ofrecer al mundo garantías creíbles de que los Estados cumplen sus compromisos en materia de no proliferación nuclear.

“La colaboración de Finlandia con el OIEA pone de manifiesto el firme compromiso de cumplir nuestras obligaciones internacionales en materia de no proliferación mediante salvaguardias eficaces”, afirma Marko Hämäläinen, Jefe de la Sección de Salvaguardias de Materiales Nucleares de la Autoridad de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) de Finlandia.

Las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo presentan tanto desafíos como oportunidades para la aplicación de salvaguardias, y se están ideando soluciones innovadoras para que los inspectores de salvaguardias del OIEA puedan verificar el material nuclear almacenado. Acceder al repositorio geológico profundo, que se encuentra a casi 500 metros bajo tierra y se prevé que esté en servicio durante los próximos 100 años, es uno de estos

desafíos. Cuando entren en funcionamiento, la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo serán las primeras instalaciones de su tipo en el mundo en virtud de un acuerdo de salvaguardias amplias con el OIEA. Por lo tanto, los inspectores del OIEA deben elaborar enfoques de salvaguardias nuevos y sostenibles para verificar, ahora y en un futuro lejano, el material nuclear al que es difícil acceder.

“Como inspectores de salvaguardias, tenemos que poder verificar el combustible nuclear gastado antes de que se transfiera a las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo. A continuación, aplicamos medidas de salvaguardias para confirmar que el combustible gastado no ha sido desviado ni sustituido, y que las instalaciones no se utilizan con fines no declarados —señala Courtney Ames, Inspectora de Salvaguardias Nucleares del OIEA—. Las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo suponen un reto para los inspectores de salvaguardias del OIEA en lo que respecta al mantenimiento de la continuidad de los conocimientos durante la transferencia del combustible gastado y después de ella, especialmente dadas las limitaciones en el acceso físico al repositorio geológico. Si utilizamos técnicas novedosas, trabajamos en grupo y realizamos un análisis minucioso, podemos lograr nuestros objetivos de salvaguardias”.

La colaboración entre el OIEA, la Comisión Europea y la STUK es esencial para elaborar medidas y técnicas de salvaguardias, en especial mediante el desarrollo de tecnologías de verificación del combustible nuclear gastado antes de su disposición final y la puesta a prueba de estas tecnologías.

En 2012, el OIEA puso en marcha el proyecto de planta de encapsulamiento y repositorio geológico (EPGR) para responder específicamente a los desafíos relacionados con la aplicación de salvaguardias que plantean los nuevos tipos de instalaciones. En estrecha colaboración con las contrapartes, en el proyecto se aplica un enfoque integral que incluye los principios de incorporación de las salvaguardias en el diseño, lo que permite reducir al mínimo las repercusiones operacionales en el repositorio geológico profundo. La incorporación de las salvaguardias en el diseño consiste en integrar consideraciones de salvaguardias desde las etapas iniciales de planificación y diseño de una instalación, y continuamente durante las etapas de construcción, explotación y clausura. En el caso de Finlandia, incorporar las salvaguardias en el diseño permite tanto a los inspectores de salvaguardias del OIEA y de la Euratom como a la autoridad nacional (STUK) desempeñar con eficacia sus funciones sin interrumpir las operaciones de las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo.



### La entrada a ONKALO, el repositorio geológico profundo de Finlandia para combustible nuclear gastado.

(Fotografía: Posiva Oy)

“En el proyecto de la EPGR, hemos adoptado el enfoque de incorporación de las salvaguardias en el diseño. Este enfoque proactivo reduce la necesidad de remodelaciones y ahorra valiosos recursos al explotador, la STUK, el OIEA y la Comisión Europea”, expresa el Sr. Hämäläinen.

También se están implantando otros conceptos y medidas formulados recientemente, como los sistemas de monitorización a distancia. Al utilizar ese tipo de sistemas para observar los lugares donde se encuentra el material nuclear, el OIEA puede reducir las inspecciones sobre el terreno y, a su vez, disminuir las emisiones de carbono derivadas de los viajes de ida y vuelta a las instalaciones. Algunas técnicas como la monitorización sísmica y los sistemas de contención por láser también podrían ayudar a reducir las inspecciones. La monitorización sísmica permite detectar cualquier penetración no declarada de las rocas que rodean al repositorio geológico profundo, mientras que los sistemas de contención por láser analizan el perfil de soldadura de la tapa del contenedor para obtener una “huella” natural única que, si se alterase, indicaría que el contenedor ha sido abierto.

En 2025 las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo de Finlandia estarán plenamente operativas para la colocación de combustible nuclear gastado. De manera conjunta, mediante la colaboración y la innovación, el OIEA, la Comisión Europea y la STUK están aplicando salvaguardias eficaces y eficientes que cumplen los objetivos de verificación del OIEA, garantizando al mismo tiempo que el funcionamiento de las instalaciones se vea afectado lo menos posible. Al incorporar las salvaguardias en el diseño, las instalaciones de la planta de encapsulamiento y el repositorio geológico profundo ofrecerán una solución para la manipulación y la disposición final del combustible nuclear gastado, apoyando así la transición hacia una energía nucleoelectrónica con bajas emisiones de carbono y facilitando la verificación por el OIEA del material y la tecnología nucleares.

# Crear percepciones sobre la energía nuclear

Irena Chatzis

*La percepción pública de la energía nuclear ha ido cambiando en medio de las preocupaciones por el cambio climático y la seguridad energética, así como por la justicia energética y el desarrollo sostenible. Al mismo tiempo, los defensores de la energía nuclear están encontrando formas innovadoras y atractivas de poner de relieve las ventajas de esta fuente de energía limpia. Una de estas personas es la modelo e influente en materia de energía nuclear Isabelle Boemeke.*

*Conocida en los medios sociales como “Isodope”, la Sra. Boemeke cree que la energía nucleoelectrica es fundamental para un futuro en el que la humanidad no solo sobreviva, sino que también prospere. En esta entrevista la Sra. Boemeke explica cómo utiliza su personaje en Internet para informar a las generaciones más jóvenes sobre la energía nucleoelectrica.*

## ¿Cómo empezó a interesarse por la energía nuclear?

En 2015, un científico al que sigo en las redes sociales tuiteó sobre los reactores de torio de sales fundidas. Investigué un poco, pero no encontré información que alguien como yo, sin formación técnica, pudiera comprender. Eso despertó mi curiosidad por la energía nucleoelectrica y pregunté a la gente qué pensaba al respecto. Las respuestas se limitaban a lo siguiente: *En realidad es buena. Sin duda la necesitamos para resolver el problema del cambio climático, pero la gente la detesta.*

Con los incendios de 2019 en Australia, el Amazonas y California, me di cuenta de que no avanzábamos lo suficientemente rápido en la lucha contra el cambio climático y empecé a buscar soluciones; fue ahí cuando me topé de nuevo con la energía nucleoelectrica. Me llamó la atención que todo lo que la gente creía saber sobre la energía nucleoelectrica era erróneo. Era erróneo porque la mayoría obtenía información a partir de referencias culturales, películas y dibujos animados, como Los Simpson. Intenté encontrar la manera de informar a la gente de que la energía nucleoelectrica es la segunda fuente de energía limpia más importante del mundo y que los países que han descarbonizado su electricidad lo han hecho en su mayoría mediante la energía hidroelectrica o la energía nucleoelectrica.

## ¿Así nació “Isodope”?

Vivimos en un mundo marcado por los medios sociales y plagado de personas influyentes en ellos. Me di cuenta de que la mejor manera de transmitir el mensaje sobre la energía nuclear era crear contenidos en los medios sociales que atrajeran y hablaran a la gente. Sabía que el contenido que yo presentara tenía que ser muy diferente, ya que no quería crear un video más. Se me ocurrió así un personaje que se viste de forma futurista, emplea un lenguaje accesible e imágenes

coloridas. Lo llamo “Isodope”, que es un juego de palabras con el término químico “isótopo”.

## ¿Quiénes conforman su público principal?

Mi atención se centra en los milénials (personas nacidas en las décadas de 1980 y 1990) y los más jóvenes. El sustento de los jóvenes está en juego. Nosotros, y nuestros hijos, vamos a ser los que vivamos con los peores efectos del cambio climático.

## ¿Cómo se llega a un público más amplio, que trascienda la comunidad pronuclear?

Los medios sociales son una herramienta muy útil para esto. No solo puedes crear contenidos, que es lo que yo hago, sino que también puedes interactuar con la gente a través de ellos. Puedes responder a quienes tengan preguntas y sientan curiosidad.

Cualquier ocasión es buena para sacar el tema de la energía nucleoelectrica. Cuando voy al médico, por ejemplo, y alguien me pregunta por mi trabajo, le digo que trabajo con la energía nuclear y siempre acaba siendo una conversación interesante. También es muy importante implicar a las comunidades cercanas a las centrales nucleares. Son las mejores defensoras de ese ámbito porque sus comunidades se están beneficiando mucho de una instalación.

Otro tema que debería explicarse en profundidad es el de los desechos radiactivos, porque es uno de los mayores problemas que menciona la gente. Cualquiera que haya visto desechos nucleares puede decir que es la cosa más aburrida del planeta Tierra: cofres de hormigón, ahí colocados. Sería de gran ayuda seguir mostrando cómo son los desechos nucleares y transmitir el mensaje de que se gestionan de forma segura y que, sinceramente, son más aburridos de lo que la gente cree.



### ¿Cuál ha sido el mayor logro en su carrera como influyente en materia de energía nuclear?

Evitar que se cerrara la central nuclear californiana Diablo Canyon en 2022 es uno de los logros más importantes por muchas razones. Cuando empecé a trabajar como influyente en materia de energía nuclear investigué las centrales que se preveían cerrar prematuramente en los Estados Unidos. En aquel momento había cinco y Diablo Canyon se destacaba, no solo porque era una instalación preciosa que podía seguir funcionando otros 20 años, sino también porque era el símbolo del movimiento antinuclear en los Estados Unidos de América. Cuando se construyó Diablo Canyon a finales de las décadas de 1960 y 1970 hubo muchas protestas, incluida una manifestación a la que asistieron unas 30 000 personas.

Salvar esa central significaba enviar un mensaje al público y a los políticos de que la tendencia ha cambiado; la gente está ahora a favor de la energía nucleoelectrica.

Pensé que era una causa que merecía la pena y colaboré con muchas organizaciones diferentes en los Estados Unidos de América. Organizamos la mayor manifestación pronuclear del país. También creé una organización sin fines de lucro llamada Save Clean Energy y envié una carta al Gobernador de California, que firmaron 80 destacados expertos y empresarios en el ámbito de la energía y el clima, instándole a mantener abierta Diablo Canyon. De este modo, la central permanecerá abierta al menos cinco años después de su cierre previsto inicialmente para 2025.

### ¿Cuáles son sus últimos proyectos y planes para Isodope?

Actualmente estoy escribiendo un libro sobre la energía nuclear titulado *Rad Future*; está escrito en un estilo similar al de Isodope, fácil de entender. En lo que respecta a mi labor sin fines de lucro, estoy muy centrada en la transición del carbón a la energía nuclear, ya que creo que es probablemente nuestra mejor apuesta para acelerar el despliegue de la energía nucleoelectrica, al menos en los Estados Unidos de América.

Por último, creo que podemos llegar a un público totalmente distinto a través de la creación en la industria de la moda. He hecho editoriales de moda y entrevistas sobre energía nucleoelectrica, y seguiré haciéndolo. En el futuro pueden surgir muchas colaboraciones interesantes en ese ámbito.

## 40 años de OSART: Mejorando la seguridad de las centrales nucleares en todo el mundo



Miembros del Grupo de Examen de la Seguridad Operacional durante el 200º examen OSART, realizado en Almaraz (España) en 2018. (Fotografía: M. Klingenboeck/OIEA)

El OIEA celebra el 40º aniversario del Grupo de Examen de la Seguridad Operacional (OSART), uno de los más importantes servicios de examen de la seguridad realizado por homólogos de cuantos ofrece el OIEA a sus Estados Miembros. El programa OSART tiene por objeto ayudar a los países a reforzar la seguridad de sus centrales nucleares durante su puesta en servicio y explotación, comparando prácticas concretas con las normas de seguridad del OIEA. Desde la primera misión, que tuvo lugar en la central nuclear de Kori (República de Corea) en agosto de 1983, el OIEA ha llevado a cabo 218 misiones OSART en 37 países, a partir de las cuales se proporcionaron evaluaciones objetivas e independientes de su rendimiento en materia de seguridad operacional.

“Por conducto de estas misiones, miles de expertos han apoyado la mejora continua de la seguridad de centrales nucleares operativas de todo el mundo”, afirma el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi.

Las misiones OSART están concebidas para ayudar a los operadores nucleares a reforzar

la seguridad operacional de sus centrales señalando esferas que cabría mejorar y recomendando maneras de hacerlo.

Durante una misión OSART, expertos de los Estados Miembros y del OIEA evalúan el rendimiento en materia de seguridad en la instalación nuclear en cuestión, comparándolo con las normas de seguridad del OIEA y las normas internacionalmente aceptadas en materia de seguridad nuclear, y formulan recomendaciones y sugerencias específicas para mejorar la seguridad. Durante la misión se evalúa la aplicación de estas normas en una amplia variedad de ámbitos, como la gestión de la central, la capacitación y cualificación del personal, las operaciones y la cultura de la seguridad.

Una vez se inicia la explotación comercial de una central, pueden llevarse a cabo en ella misiones OSART en cualquier momento. Unos 18 meses después de la misión principal suele realizarse una visita de seguimiento. Las misiones Pre-OSART se llevan a cabo durante la fase de puesta en servicio de una central nuclear, normalmente unos pocos meses antes de que se cargue el primer combustible nuclear en el

reactor nuclear. Para complementar dichas misiones también se llevan a cabo misiones OSART corporativas, a fin de examinar las funciones centralizadas de aspectos de seguridad operacional del parque de centrales nucleares, como la gestión corporativa, la monitorización del rendimiento en materia de seguridad, y la supervisión, las compras o los recursos humanos.

### El programa OSART en la actualidad

Un análisis reciente mostró que los operadores de instalaciones nucleares actúan prontamente en relación con los hallazgos de las misiones OSART, y que, para cuando se llevan a cabo las misiones de seguimiento, más del 95 % de estas cuestiones han quedado resueltas o han registrado avances satisfactorios.

En los últimos años, el programa ha hecho mayor hincapié en ámbitos como la gestión de accidentes y la interacción entre el ser humano, la tecnología y las organizaciones. El programa también pone de relieve la cultura de la seguridad, que se refiere al modo en que la cultura de una organización prioriza y valora la seguridad. El programa OSART aspira a inculcar una cultura de la seguridad que anime a las organizaciones anfitrionas a determinar y resolver por sí mismas, en una fase temprana, los problemas de seguridad.

### Promoviendo el intercambio de información, la transparencia y la confianza

Hasta la fecha, las misiones OSART han señalado 1350 buenas prácticas, que se encuentran también a disposición del público en el sitio web del OIEA. Las entidades explotadoras examinan con frecuencia estas buenas prácticas e implementan las que son aplicables.



A fin de garantizar la transparencia, las Directrices OSART se encuentran a disposición del público, al igual que las normas de seguridad del OIEA en las que se basa el servicio.

“Las misiones de examen por homólogos del OIEA son ahora más cruciales que nunca, pues sientan las bases para la importante expansión de la energía nuclear,

que será necesaria para alcanzar los objetivos climáticos mundiales”, afirma el Director General Grossi.

– *Nayana Jayarajan*

## El OIEA muestra su apoyo a los ODS en un foro político de alto nivel de las Naciones Unidas

El OIEA participó en la edición correspondiente a 2023 del foro político de alto nivel sobre el desarrollo sostenible, organizado por las Naciones Unidas y celebrado en su Sede en Nueva York del 10 al 19 de julio, donde hizo hincapié en las contribuciones fundamentales de la ciencia y la tecnología nucleares a la consecución de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

“Nos enfrentamos a un futuro incierto en un momento en que convergen varias crisis: hídrica, energética y climática. Debemos trabajar juntos para encontrar soluciones viables que aborden las prioridades de los países, aumenten su resiliencia y reduzcan las desigualdades a escala mundial”, declaró Hua Liu, Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Cooperación Técnica.

El OIEA se ocupa principalmente de ayudar a los países a alcanzar sus metas de los ODS, cinco de los cuales se examinaron en el foro político de alto nivel de 2023, entre ellos el agua limpia y el saneamiento (ODS 6) y la energía asequible y limpia (ODS 7). El OIEA promueve el uso de la ciencia y la tecnología nucleares para generar energía limpia, fiable y asequible, así como el empleo de técnicas nucleares, como la hidrología isotópica, para mejorar la gestión de los recursos hídricos.

Este año marca el ecuador de la aplicación de los 17 ODS, una serie de objetivos interconectados destinados a abordar los desafíos globales a los que se enfrenta el mundo, y que han de alcanzarse de aquí a 2030. El OIEA acogió una exposición y organizó un evento paralelo centrado en la

mejora del acceso al agua y la energía limpias mediante la cooperación Sur-Sur y triangular.

La Directora de la Oficina de las Naciones Unidas para la Cooperación Sur-Sur, Dima Al-Khatib, subrayó la importancia de este enfoque. “La cooperación Sur-Sur y triangular está demostrando ser una forma innovadora de reforzar la capacidad y atenuar las dificultades con las que están lidiando los países del Sur, ya sea en cuestiones de gestión del agua, energía, digitalización o pobreza. La cooperación Sur-Sur es un mecanismo de colaboración inestimable con repercusiones a todos los niveles”, declaró.

El Embajador Xolisa Mabhongo, de Sudáfrica, hizo hincapié en la importancia de la cooperación Sur-Sur en cuestiones de planificación energética, debido al alto nivel de competencia técnica requerido. Con el apoyo del OIEA, Sudáfrica ha acogido sesiones del Curso de Gestión de la Energía Nuclear, a fin de ayudar a expertos de países africanos a adquirir conocimientos y competencias sobre el ciclo de vida de la energía nuclear.

“Trabajando con asociados de confianza podemos abordar las crisis climática y energética, ampliando el alcance de soluciones demostradas que han sido posibles gracias a la ciencia y la tecnología”, señaló Vivian Okeke, Representante del Director General del OIEA ante las Naciones Unidas y Directora de la Oficina de Enlace del OIEA en Nueva York.

Si bien el acceso a la energía limpia ha mejorado en todo el mundo, 675 millones de personas todavía carecen de acceso a la electricidad,

y 2300 millones de personas no tienen acceso a fuentes seguras de combustible para cocinar, según el Informe de los Objetivos de Desarrollo Sostenible 2023: Edición especial. El OIEA ayuda a los países a alcanzar los ODS por conducto de su programa de cooperación técnica.

El Sr. Liu, Director General Adjunto del OIEA, intervino durante un evento paralelo de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura dedicado a la evaluación científica del agua y destacó que, “basándose en ella, los científicos pueden proporcionar a los responsables de la formulación de políticas la información necesaria para gestionar, proteger y conservar los recursos hídricos; hacer que el agua limpia esté a disposición de todos supondría un antes y un después para el desarrollo sostenible”.

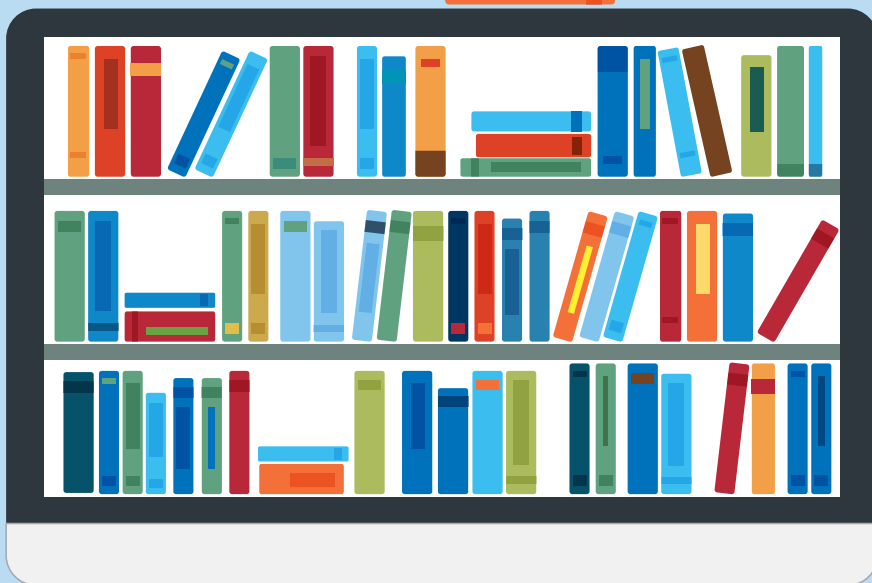
En todo el mundo, 2200 millones de personas siguen sin tener acceso a agua apta para el consumo y 3500 millones carecen de servicios de saneamiento. El cambio climático y los conflictos han agravado los problemas de escasez de agua en algunas regiones. El Representante Permanente de Tayikistán ante las Naciones Unidas, el Embajador Jonibek Hikmat, describió los desafíos que atraviesa actualmente su país en relación con la seguridad hídrica y cómo estos se están viendo exacerbados por el cambio climático. El OIEA ha prestado apoyo a Tayikistán en forma de cooperación técnica a medida para evaluar los recursos de aguas subterráneas en la cuenca del mar de Aral, y acaba de dar comienzo un proyecto nacional sobre glaciares.

– *Melissa Evans*

# 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

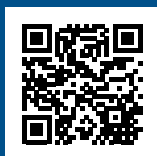
### Climate Change and Nuclear Power 2022

y otras publicaciones del OIEA sobre soluciones innovadoras para emisiones netas cero:

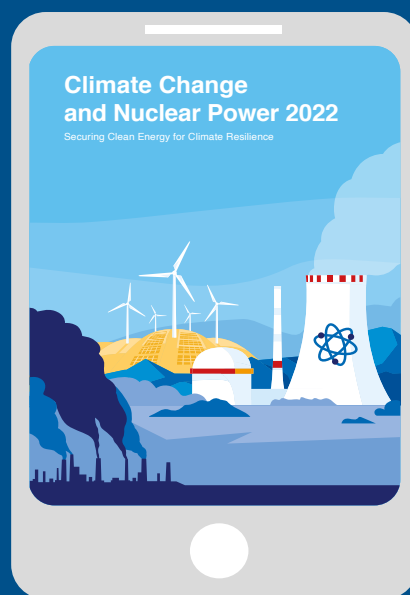
**Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment**

**Nuclear–Renewable Hybrid Energy Systems**

**Benefits and Challenges of Small Modular Fast Reactors**



[www.iaea.org/es/bulletin/64-3](http://www.iaea.org/es/bulletin/64-3)



# 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)



# SCIENTIFIC FORUM

NUCLEAR ENERGY FOR CLIMATE

26 Y 27 DE SEPTIEMBRE DE 2023

MÁS INFORMACIÓN



[atoms.iaea.org/SciFoNetZero](https://atoms.iaea.org/SciFoNetZero)

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

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

o síguenos en:

