

IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Octubre de 2024 | www.iaea.org/es/bulletin

LA ENERGÍA NUCLEAR

— es indispensable para lograr —
UNAS EMISIONES NETAS CERO

El camino hacia unas emisiones netas cero comienza aquí
— entrevista con el Primer Ministro de Bélgica, Alexander De Croo, pág. 4

[La transición energética y la descarbonización industrial, pág. 10](#)

La iniciativa Atoms4NetZero del OIEA ayuda a los países a aprovechar la capacidad de la energía nuclear para lograr unas emisiones netas cero, pág. 16



BOLETÍN DEL OIEA

es una publicación de la

Oficina de Información al Público y Comunicación

Organismo Internacional de Energía Atómica

Centro Internacional de Viena

PO Box 100, 1400 Viena, Austria

Tel.: (43 1) 2600 0

iaeabulletin@iaea.org

Editora: Kirstie Gregorich Hansen

Editora jefa: Patricia Puhm

Diseño y producción: Ritu Kenn

El **BOLETÍN DEL OIEA** puede consultarse en línea en

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 vaya a utilizarse para una reseña.

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

Fotografía de la portada:

AdobeStock

Síguenos en:



Átomos para la paz
y el desarrollo

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

El OIEA, creado en 1957 como organismo independiente de las Naciones Unidas, es la única organización del sistema de las Naciones Unidas especializada en tecnología nuclear. Por medio de sus laboratorios especializados, únicos en su clase, ayuda a transferir 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 delincuentes 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 las personas 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, en Viena (Austria), 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).

El momento ha llegado

Energía nuclear para un futuro de emisiones netas cero

Rafael Mariano Grossi, Director General del OIEA

Los efectos del cambio climático son cada vez más evidentes. Las sequías, las inundaciones y los incendios nos dicen que tenemos que actuar con decisión y a gran escala.

Las iniciativas mundiales encaminadas a descarbonizar la energía, la industria y el transporte están logrando avances, especialmente en el reconocimiento de la función crucial que desempeña la energía nuclear.

La inclusión de la energía nuclear en el balance mundial publicado durante la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), celebrada el año pasado en Dubái, fue un hecho, cuando menos, histórico. Por primera vez desde que se celebró la cumbre inaugural sobre el clima en 1995, los 198 países signatarios de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) pidieron oficialmente que se acelerara la implantación de la energía nuclear. Asimismo, más de 20 países se comprometieron a trabajar para cumplir el objetivo de triplicar la capacidad nucleoelectrica mundial a fin de ayudar a alcanzar unas emisiones netas cero para 2050.

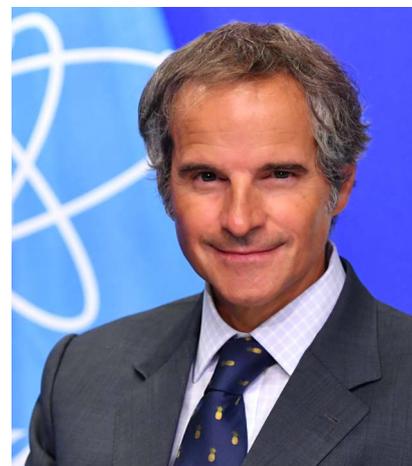
En marzo de 2024, el OIEA y el Gobierno de Bélgica organizaron la primera Cumbre sobre Energía Nuclear del mundo, que reunió en Bruselas a líderes de más de 30 países y de la Unión Europea para poner de relieve medidas concretas encaminadas a agilizar la implantación de la energía nucleoelectrica para lograr la seguridad energética, cumplir los objetivos climáticos y fomentar el desarrollo sostenible. Esta primera cumbre sobre energía nuclear supuso un punto de inflexión y dejó claras las medidas que es necesario adoptar: desde establecer las condiciones necesarias para la inversión hasta garantizar que ningún país se quede atrás.

Gracias a este impulso, el OIEA ha aumentado sus proyecciones relativas a la generación nucleoelectrica

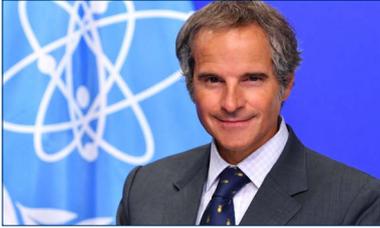
por cuarto año consecutivo. Según la hipótesis alta, en 2050 la capacidad nuclear mundial será 2,5 veces superior a la actual, y una cuarta parte del crecimiento procederá de los reactores modulares pequeños (SMR).

En todo el mundo hay países en fase de incorporación al ámbito nuclear que están apostando por la energía nuclear y países con programas consolidados que están prolongando la vida útil de las centrales nucleares y construyendo centrales nuevas. Las empresas tecnológicas que necesitan alimentar centros de datos de gran consumo energético sin aumentar las emisiones nocivas están alcanzando acuerdos con agentes del sector nuclear, como proveedores consolidados de electricidad nuclear y empresas emergentes de SMR.

En esta edición del *Boletín* se examina el panorama actual de la energía nucleoelectrica mediante ejemplos de logros recientes y de la labor que queda por hacer para que la energía nucleoelectrica cumpla dichas proyecciones. Desde aumentar la fuerza de trabajo hasta racionalizar los procesos y acelerar el despliegue de los reactores, el camino a seguir está claro. Para lograr nuestros objetivos, debemos actuar con determinación y llevar a la práctica las intenciones que declaramos a escala mundial. El mundo necesita más energía nuclear; ha llegado el momento de pasar a la acción.



Fotografías: OIEA



1 El momento ha llegado

Energía nuclear para un futuro de emisiones netas cero

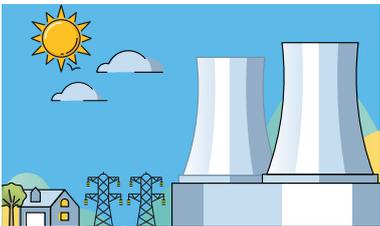


4 El camino hacia unas emisiones netas cero comienza aquí

Entrevista con el Primer Ministro de Bélgica, Alexander De Croo



6 COP29: Aprovechar el impulso de Dubái en Bakú



8 Los reactores grandes están abocados a encabezar la ampliación de la energía nucleoelectrica a medida que avanzan los reactores modulares pequeños



10 La transición energética y la descarbonización industrial



12 Los centros de datos, la inteligencia artificial y las criptomonedas contemplan la energía nuclear avanzada para satisfacer sus crecientes necesidades de electricidad



14 Gestionar el desarrollo nuclear

La versatilidad del enfoque de los hitos del OIEA



16 La iniciativa Atoms4NetZero del OIEA ayuda a los países a aprovechar la capacidad de la energía nuclear para lograr unas emisiones netas cero



18 Normas para el éxito

Iniciativa para impulsar el despliegue de reactores modulares pequeños



20 Desarrollo de los recursos humanos del ámbito nuclear para un futuro de emisiones netas cero



22 Qué significa para las actividades de verificación del OIEA la declaración sobre energía nuclear realizada en la COP28

NOTICIAS DEL OIEA

24 Noticias

28 Publicaciones

El camino hacia unas emisiones netas cero comienza aquí



Alexander De Croo, Primer Ministro de Bélgica, copresidió con el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, la primera edición de la Cumbre sobre Energía Nuclear.

La energía nuclear atrae cada vez más el interés de numerosos países por su capacidad para reducir el consumo de combustibles fósiles y satisfacer al mismo tiempo la creciente demanda de electricidad con bajas emisiones de carbono y distribuible, lo que nos acerca más a la consecución de nuestros objetivos mundiales de cero emisiones netas. La Cumbre fue la reunión de más alto nivel celebrada hasta la fecha dedicada exclusivamente al tema de la energía nuclear.

El Primer Ministro De Croo nos habló de la importancia de la Cumbre y del papel de la energía nuclear en el logro de unas emisiones netas cero.

P: ¿Cuáles fueron los principales objetivos de la Cumbre sobre Energía Nuclear y cómo previó usted que esta influiría en las conversaciones y medidas mundiales relacionadas con la energía nuclear y las tecnologías en desarrollo?

R: Fue la primera vez que se organizó una cumbre mundial sobre energía nuclear que contó con la participación de jefes de Estado, lo cual subrayó la importancia de esta reunión, que se celebró en Bruselas el 21 de marzo de 2024. La Cumbre brindó a todos los líderes participantes la oportunidad de compartir sus puntos de vista sobre el papel que la tecnología nuclear debe desempeñar —y desempeñará los próximos años— en la consecución de los objetivos de descarbonización que nos hemos fijado colectivamente. Constituyó un fuerte mensaje político, al reconocer el papel esencial que desempeña la energía nucleoelectrica para muchos países de todo el mundo en el camino hacia unas emisiones netas cero.

Hablar sobre algo es bueno. Aplicar soluciones es mucho mejor. Por eso decidimos combinar estos debates a nivel político con un simposio científico que congregó a las principales partes interesadas del sector para darles la oportunidad de mostrar sus últimas innovaciones y ayudarles a tender los puentes y establecer las alianzas que desarrollarán los proyectos del mañana.

P: ¿Cómo ve usted la contribución de la energía nuclear a la transición mundial hacia fuentes de energía más limpias y sostenibles, especialmente en el contexto de la transición a unas emisiones netas cero?

R: Como parte de la solución. Por un lado, la guerra en Ucrania nos ha abierto los ojos en Europa sobre el hecho de que ya no podemos depender de otros para que satisfagan nuestras propias necesidades energéticas. Tenemos que recuperar el control y diversificar al máximo posible nuestras fuentes de energía. Europa ha redescubierto la realidad geopolítica de la política energética. Al mismo tiempo, tenemos que acelerar nuestra transición energética si queremos cumplir los objetivos climáticos que nos hemos fijado para 2050.

P: ¿Por qué ahora? ¿Por qué considera que era necesaria una cumbre?

A: No hay más que ver el lugar destacado que ocupó la energía nuclear en los debates de la COP28, celebrada en Dubái. Ahora tenemos que pasar de ideas y proyectos a la puesta en marcha. He ahí el verdadero desafío. Debemos aprovechar este impulso para crear el espacio político y económico que nos permita pasar de presentaciones en PowerPoint a proyectos en curso, tanto si hablamos de reactores modulares pequeños (SMR) como de otras soluciones innovadoras que posibiliten una carga base estable para nuestras industrias en todo el mundo.

P: La energía nuclear suele enfrentarse con el escepticismo de la opinión pública. ¿Qué estrategias considera cruciales para mejorar la comprensión y la aceptación públicas de la energía nucleoelectrica como medio para hacer frente al cambio climático?

R: En cierto modo, ya han cambiado las cosas. No se tenía una conciencia pública tan elevada sobre la energía nuclear desde hacía muchas décadas. Incluso en países como el mío, donde se tenía previsto eliminarla por completo, se observa un cambio radical en la opinión pública a favor de la contribución de la energía nucleoelectrica a la canasta energética. Esta tendencia también se observa en otros países. Debemos aprovechar este renovado apoyo para fomentar el mayor grado posible de transparencia y confianza de nuestra opinión pública. No podemos permitirnos restar importancia a la contribución de la energía nucleoelectrica, pero tampoco hay que exaltarla. Tenemos que ser realistas en nuestras aspiraciones respecto del papel que desempeña la energía nuclear en la canasta energética total de los países, y dialogar sobre las oportunidades y los desafíos de forma transparente.



El Primer Ministro Alexander De Croo y el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, anuncian en la COP28 celebrada en Dubái la primera Cumbre sobre Energía Nuclear del mundo.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

P: ¿Qué desafíos y oportunidades prevé usted en la adopción generalizada de la energía nuclear a escala mundial, y cómo pueden afrontarse estos desafíos?

R: Para mí es importante hablar de las oportunidades, que son enormes. El cambio climático es el mayor desafío del milenio, pero podemos convertirlo en un resultado positivo, creando puestos de trabajo, aumentando la calidad y la resiliencia de nuestras sociedades y ofreciendo un futuro real a la innovación y a nuestra industria. El desafío radica en consolidar nuestros esfuerzos aunando las expectativas de los ciudadanos, los políticos, nuestras industrias y todas las partes interesadas para colaborar en la aplicación de esta respuesta, en la que se integra la energía nuclear. El objetivo era hacer de la Cumbre un evento verdaderamente mundial, lograr que participaran asociados de todo el mundo. El cambio climático no se detiene en las fronteras nacionales, y eliminar gradualmente los combustibles fósiles en una sola parte del mundo no será suficiente. Necesitamos una respuesta colectiva a escala mundial que tenga en cuenta las diferencias entre continentes y países. Celebrar la primera edición de la Cumbre sobre Energía Nuclear fue un éxito y, sin duda, no será la última.

P: En su opinión, ¿cómo puede la energía nuclear mejorar la seguridad energética y fomentar el desarrollo económico, tanto a nivel nacional como mundial?

R: Miren lo que pudimos hacer en Bélgica. Dimos un giro a políticas que llevaban 20 años en vigor y revisamos nuestra postura de eliminar progresivamente la energía nuclear. Lo hicimos en un momento en que habíamos invertido tanto en energías renovables como nunca antes. En Bélgica aspiramos a cuadruplicar nuestra producción de energía eólica marina en el mar del Norte hasta alcanzar los 8 gigavatios (GW)

para 2040 y a conectar nuestra infraestructura marina con otros países del mar del Norte mediante la construcción de la primera isla energética del mundo, que para 2040 cubrirá el consumo del 50 % de los hogares belgas. ¡No está nada mal para un país con poco más de 60 kilómetros de litoral! Pero esto debe complementarse con otras fuentes de energía bajas en carbono, como la energía nucleoelectrónica. Además de la explotación a largo plazo de los reactores Doel 4 y Tihange 3, hemos decidido invertir en innovación nuclear en el Centro de Estudios de Energía Nuclear (SCK-CEN), situado en Mol. Bélgica aspira a participar en actividades innovadoras de investigación sobre el desmantelamiento de instalaciones nucleares, las aplicaciones médicas de los radioisótopos y el desarrollo de los SMR de cuarta generación..

P: Dados los avances de la tecnología nuclear, incluidos los SMR, los reactores grandes y la tecnología de fusión, ¿cómo considera usted que estas innovaciones van a forjar el futuro de la energía nuclear y a contribuir a un panorama energético más sostenible?

R: La innovación es esencial para el futuro de cualquier sector. Para la transición a un futuro de emisiones netas cero se precisa una revisión general de nuestros sistemas energéticos. Seguiremos necesitando una importante carga base en nuestras sociedades, y la energía nuclear seguirá desempeñando un papel crucial en este sentido en muchos países, pero también necesitaremos sistemas energéticos más ágiles e inteligentes si lo que pretendemos es tener éxito. Nuestros sistemas energéticos futuros tendrán que ser resilientes y neutros en carbono, ofrecer seguridad de suministro y tener el menor costo de explotación posible. Gran parte de la innovación en el sector nuclear está abordando estos desafíos, y esto demuestra que el sector va por buen camino.

EMISIONES
NETAS CERO

COP29: Aprovechar el impulso de Dubái en Bakú

Matt Fisher

Tras un año de considerables avances en relación con la energía nucleoelectrónica, el impulso internacional para ayudar a afrontar los desafíos climáticos y energéticos más acuciantes del mundo con esta tecnología limpia y fiable ha pasado del 28º período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), que tuvo lugar en Dubái, a la COP29 por celebrarse en Bakú, donde Azerbaiyán acogerá la cumbre mundial anual sobre el clima.

La COP28 fue un evento histórico para la energía nuclear. Después de pasar casi tres decenios al margen de esa conferencia anual, el año pasado, en Dubái, la energía nuclear finalmente recibió reconocimiento. El mensaje de la COP28 fue claro: es preciso que la ampliación de la energía nucleoelectrónica sea un elemento fundamental de los esfuerzos mundiales por lograr emisiones netas cero.

Ese impulso siguió cobrando fuerza en la primera edición de la Cumbre sobre Energía Nuclear, que fue organizada

por el OIEA y el Gobierno de Bélgica y se llevó a cabo en Bruselas en marzo de 2024. Líderes de más de 30 países y de la Unión Europea destacaron la importancia de la energía nuclear para la seguridad energética, los objetivos climáticos y el desarrollo sostenible.

La COP29 ofrece a la energía nuclear otra oportunidad de ser centro de atención a medida que los países trazan caminos para que esta alcance su potencial. Mientras los líderes se reúnen en Bakú, esta edición del Boletín del OIEA pone de relieve el papel cada vez más prominente de la energía nucleoelectrónica en la transición hacia una energía limpia.

Diversificar las soluciones del ámbito de la energía nuclear

Para triplicar la capacidad nuclear de aquí a 2050, el mundo tendrá que aprovechar todas las soluciones disponibles. Prácticamente todos los reactores en construcción, en total unos 60, son reactores de agua a presión de grandes dimensiones. Si bien la mayor parte de las tecnologías desarrolladas será de este tipo, también hay margen para que las tecnologías emergentes como los reactores modulares

El mensaje de la COP28 fue claro: es preciso que la ampliación de la energía nucleoelectrónica sea un elemento fundamental de los esfuerzos mundiales por lograr emisiones netas cero.

تجارب العالم العربي
يوليو 2023

TRIPLING NUCLEAR ENERGY BY 2050

United Arab Emirates, December 2023



pequeños (SMR) y los microrreactores, entre ellos los de diseño novedoso con combustibles y refrigerantes innovadores, desempeñen un papel importante.

La energía nuclear es versátil: además de proporcionar electricidad de carga base a las redes eléctricas de todo el mundo, puede utilizarse para descarbonizar rápidamente y mitigar el impacto de los sectores industriales, responsables de casi el 40 % de las emisiones de gases de efecto invernadero.

Las necesidades de electricidad de los centros de datos y la inteligencia artificial se dispararán en los próximos años, por lo que empresas como Google y Microsoft están considerando activamente las tecnologías nucleares avanzadas como fuentes de energía limpia, fiable y flexible para satisfacer sus crecientes necesidades energéticas. Esto podría dar lugar a una vía novedosa y original para la implantación comercial de la energía nucleoelectrónica avanzada en mercados a los que le cuesta llegar por los desafíos relacionados con la financiación de tecnologías que son las primeras de una serie.

Importantes hitos cada vez más cerca

En un contexto en el que cada vez más países contemplan incorporar la energía atómica a su canasta energética, el enfoque de los hitos del OIEA, que se actualizó hace poco para que abordara cuestiones específicas relativas a los SMR, ofrece un proceso sólido para desarrollar la infraestructura necesaria para un programa de energía nucleoelectrónica sostenible y tecnológica y físicamente seguro. Los países en fase de incorporación pueden beneficiarse de las orientaciones del OIEA a medida que sigue aumentando la demanda de energía nucleoelectrónica en el mundo en desarrollo.

Los países necesitan apoyo para trazar sus propios caminos hacia unas emisiones netas cero. La modelización de escenarios energéticos suele ser el punto de partida: un panorama exhaustivo y basado en datos de los desafíos y las oportunidades que alberga el futuro. La iniciativa Atoms4NetZero del OIEA proporciona a los responsables de la formulación de políticas los datos que necesitan para tomar decisiones fundamentadas

y con base científica que permiten aprovechar todo el potencial de la energía nuclear, también en sectores no eléctricos, y descarbonizar sus economías nacionales.

Canalizar el progreso

Para optimizar los planes de ampliación se necesitan enfoques novedosos que permitan ejecutar los proyectos de nueva construcción en el plazo y con el presupuesto previstos. La Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear del OIEA ayuda a los países a formular enfoques de reglamentación armonizados y llevar adelante la normalización industrial para facilitar el despliegue de SMR y otros reactores avanzados en condiciones de seguridad tecnológica y física.

Ahora más que nunca se necesita una fuerza de trabajo cualificada y diversa para hacer frente a los desafíos del momento y garantizar la sostenibilidad a largo plazo de la energía nuclear. El OIEA apoya a los países en estas esferas mediante iniciativas como el Curso de Gestión de la Energía Nuclear, el Programa de Becas del OIEA Marie Skłodowska-Curie, el Programa Lise Meitner y varios otros cursos de capacitación, talleres y servicios de examen por homólogos.

El OIEA debe verificar el uso pacífico del material nuclear. La ampliación continua de la energía nucleoelectrónica se sumará al aumento constante de los volúmenes de material nuclear y del número de instalaciones sometidas a las salvaguardias del OIEA. Utilizando tecnologías avanzadas y trabajando en cooperación con los Estados que están ampliando su producción de energía nuclear, así como con los países en fase de incorporación que procuran añadir la energía nuclear a su canasta energética, el sistema de salvaguardias del OIEA está preparado para satisfacer las demandas de la comunidad internacional, que van en aumento, a medida que el mundo aspira a alcanzar emisiones netas cero.

Como dejó en claro la COP28, sigue aumentando la sed de energía nuclear limpia y fiable a nivel mundial. En la COP29, los países pueden trabajar para garantizar que la energía nuclear alcance todo su potencial como elemento clave de un futuro de emisiones netas cero.

Los reactores grandes están abocados a encabezar la ampliación de la energía nucleoelectrica a medida que avanzan los reactores modulares pequeños

Joanne Liou

Ampliar la energía nucleoelectrica hasta el nivel necesario para lograr unas emisiones netas cero es una empresa importante y polifacética, y aunque muchos tipos de reactores pueden contribuir a ello, los reactores grandes están llamados a marcar el camino. Los reactores refrigerados por agua de grandes dimensiones fueron fundamentales para el auge de la industria nuclear en el siglo XX, y los reactores avanzados que actualmente se encuentran en fase de planificación o en construcción, muchos de los cuales oscilan entre 1 y 1,7 gigavatios (eléctricos) (GW(e)), están preparados para proporcionar la mayor parte de la nueva capacidad nuclear.

“En el caso de los países que ya operan centrales nucleares, los reactores de agua ligera de gran tamaño, en lugar de los reactores modulares pequeños (SMR), impulsarán el aumento de la capacidad nuclear —señala Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoelectrica del OIEA—. Los reactores grandes son una tecnología consolidada que puede proporcionar económicamente energía de carga base en gran cantidad y de forma fiable, pero esperamos que los países y las industrias aprovechen también las posibilidades que ofrecen los SMR”.

Es preciso ampliar la energía nucleoelectrica para alcanzar los objetivos de emisiones netas cero: ese fue el llamamiento

que el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, hizo el pasado diciembre en el 28o periodo de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), en una declaración respaldada por decenas de países. La inclusión de la energía nucleoelectrica en el balance mundial por primera vez en los casi 30 años de historia de la Conferencia reafirmó esa posición.

Conforme a la hipótesis alta, el OIEA proyecta que la capacidad de energía nuclear se duplicará con creces de aquí a 2050, pasando de 371 GW(e) en 2022 a 890 GW(e) para 2050, y solo alrededor del 10 % de este incremento provendrá del despliegue de SMR. Para alcanzar esto habría que añadir al menos 20 GW(e) al año. “La proyección alta es ambiciosa pero técnicamente viable”, afirma Henri Paillere, Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del OIEA.

Los reactores más pequeños, como los SMR y los microrreactores, pueden ser especialmente adecuados para suministrar electricidad a usuarios finales del sector industrial y comunidades remotas con redes eléctricas de menor envergadura, así como para alimentar aplicaciones no eléctricas como la producción de hidrógeno y la desalación de agua de mar. No obstante, será necesaria la demostración de los SMR antes de su despliegue generalizado, y los reactores de mayor tamaño seguirán dominando el panorama de la energía nucleoelectrica en los próximos años.

Casi todos los reactores nucleares que se encuentran actualmente en construcción, que suman 58, son reactores grandes, y los planes de ampliación de los países que explotan la energía nucleoelectrica y los países en fase de incorporación giran principalmente en torno a reactores de 1 GW o más de capacidad, aunque muchos de estos países también están considerando la posibilidad de desplegar SMR

Conforme a la hipótesis alta, el OIEA proyecta que la capacidad de energía nuclear se duplicará con creces de aquí a 2050, pasando de 371 GW(e) in 2022 a 890 GW(e) para 2050, y solo alrededor del 10 % de este incremento provendrá del despliegue de SMR.



a la larga. Polonia, país en fase de incorporación que pretende incorporar la energía nuclear a mediados de la década de 2030, tiene previsto desplegar entre 6 y 9 GW(e) de capacidad de generación con reactores nucleares de potencia de grandes dimensiones. China, que actualmente explota 55 reactores, prevé multiplicar por ocho su capacidad nucleoelectrica hasta alcanzar unos 400 GW para 2060, principalmente mediante el despliegue de reactores grandes.

Desafíos relacionados con la ampliación nuclear

Según Paillere, los mayores desafíos que plantea la ampliación de capacidad de energía nuclear son los relacionados con los recursos financieros y humanos: “Se necesitan mecanismos para atraer capital de inversores y del sector privado con el objeto de financiar proyectos nucleares nuevos. Hay dinero suficiente para financiar las inversiones en la transición hacia una energía limpia. Lo que hace que los inversores sean cautelosos en relación con la energía nucleoelectrica es el riesgo, como los retrasos en la construcción”.

La construcción de proyectos nucleares de gran envergadura y carácter novedoso en países occidentales a menudo se ha visto plagada de sobrecostos y demoras, ya que, tras un paréntesis de decenios en la construcción de nuevas centrales nucleares, fue necesario volver a desarrollar las aptitudes y revitalizar los procesos. “En algunos de esos países hacía 20 años que no había actividad de construcción. Fue necesario capacitar a los recursos humanos y restablecer las cadenas de suministro —sostiene Paillere—. El incremento de la capacidad nuclear entraña el aumento de la construcción y las conexiones a la red, lo que implica conseguir más ingenieros, técnicos, soldadores y otros trabajadores. La cuestión de los recursos humanos no es exclusiva del ámbito nuclear, sino que es un desafío común a todas las tecnologías de energía limpia”. Las enseñanzas extraídas de proyectos anteriores, incluida la gestión de proyectos y la participación de las partes interesadas, serán fundamentales para concluir oportunamente los proyectos de nueva construcción.

En algunos países, como Belarús, China, la República de Corea, los Emiratos Árabes Unidos y la Federación de Rusia, los proyectos de nueva construcción —cuya mayoría conlleva la construcción de reactores avanzados refrigerados por agua— se han desarrollado en gran medida en el plazo y el presupuesto previstos. “El diseño normalizado de los reactores avanzados agiliza la concesión de licencias y reduce tanto los costos de capital como los plazos de construcción”, declara des Cloizeaux.

Ampliación pasada y futura

En la década de 1970 se produjo un auge de la ampliación de la energía nucleoelectrica, impulsado principalmente por América del Norte y Europa. En 1970, 15 países operaban 90 reactores nucleares de potencia con una capacidad total de 16,5 GW(e). A lo largo de la década de 1970, se inició la construcción de 25 a 30 nuevas unidades nucleares por año. Para 1980, 22 países operaban 253 reactores nucleares de potencia con una capacidad de 135 GW(e). A finales de 1990, la capacidad nuclear había aumentado más del doble hasta alcanzar los 326 GW(e) en todo el mundo.

“La industria nuclear y la cadena de suministro estaban bien establecidas y eran capaces de construir 30 GW por año —dice Paillere—. Esto es alentador porque, en aquel momento, solo había unos pocos países que lideraban la tendencia, como los Estados Unidos de América, Francia y el Japón. En la actualidad, China y la Federación de Rusia han pasado a ser actores principales y cuentan con la cadena de suministro y la industria necesarias para apoyar la ampliación de la energía nucleoelectrica”.

Para reactivar y ampliar la energía nucleoelectrica con miras a lograr objetivos mundiales, ya sea mediante reactores grandes o SMR, se necesitará apoyo político y un estricto control de costos. “Se cuenta con el impulso para alcanzar los objetivos, pero hace falta más acción política”, concluye des Cloizeaux.

ampliación de la energía nucleoelectrica



La transición energética y la descarbonización industrial

Eric Ingersoll y Chirayu Batra

En el futuro que queremos hay abundancia de energía limpia para un planeta con alto suministro eléctrico. Para descarbonizar por completo el sistema energético mundial y permitir que cada ciudadano del mundo reciba servicios modernos de energía eléctrica equivalentes al promedio de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos, se necesitan más de 30 teravatios (eléctricos) (Tw(e)) de energía limpia estable. ¿De qué manera pueden seguir creciendo las industrias y las economías, incluso mientras apuestan por la descarbonización? En 2022, el 37 % del uso de energía a escala mundial correspondió al sector industrial, que fue responsable directo de la emisión de 9 gigatoneladas (Gt) de dióxido de carbono, es decir, el 25 % de las emisiones de dióxido de carbono del sistema energético en el mundo (excluidas las emisiones indirectas procedentes del uso de electricidad para procesos industriales). A pesar de los compromisos de descarbonización, las emisiones de proceso causadas por los principales países industrializados han venido aumentando a un ritmo constante.

otras cuestiones, como la disponibilidad de nuevas líneas de transmisión y la eficacia y la fiabilidad del nuevo proceso de electrificación, que se presentan como obstáculos.

Como se ha analizado en un informe reciente del Departamento de Energía de los Estados Unidos (EE. UU.), la mayoría de las emisiones de los sectores industriales proviene del calor: casi el 60 % de las emisiones son producto de las necesidades de calor y la generación de electricidad *in situ*. Si se tiene en cuenta la intensidad carbónica de la red eléctrica, las emisiones industriales podrían superar fácilmente el 70 % de las emisiones totales.

La inclusión en el 28º período de sesiones de la Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28) de la energía nuclear como fuente de energía limpia que requiere un desarrollo acelerado fue un hecho sin precedentes. Más de 22 países se comprometieron a trabajar para triplicar la capacidad nuclear mundial de aquí a 2050. No obstante, esto produciría alrededor de 9000 teravatios-hora (TW-h) de energía, lo que equivale al consumo total de energía del que fue responsable el sector de la industria siderúrgica en 2022. Para la total descarbonización de las industrias que consumen mucha energía, como la química, la petroquímica, la del cemento y la del papel y la pasta de papel, se necesitaría un aumento mucho mayor del calor y la electricidad limpios.

El uso de fuentes de energía intermitentes exige una ampliación a gran escala de la red, lo que afecta su estabilidad y se traduce en un incremento de los costos del sistema y los incurridos para aportar fiabilidad. Estos factores no se ajustan a las necesidades energéticas de la industria y podrían limitar considerablemente el crecimiento industrial. Sin embargo, una fuente descentralizada de energía nuclear, como un pequeño reactor modular (SMR) o un microrreactor en un emplazamiento industrial o una aglomeración industrial, puede proporcionar suficiente calor y electricidad para satisfacer las necesidades. Empresas como Dow Chemicals ya contemplan probar este modelo con planes para instalar SMR de alta temperatura refrigerados por gas en una de sus instalaciones de producción de los Estados Unidos con el fin de sustituir el gas natural por calor y energía limpios y descarbonizar la producción.

Un futuro energético sostenible

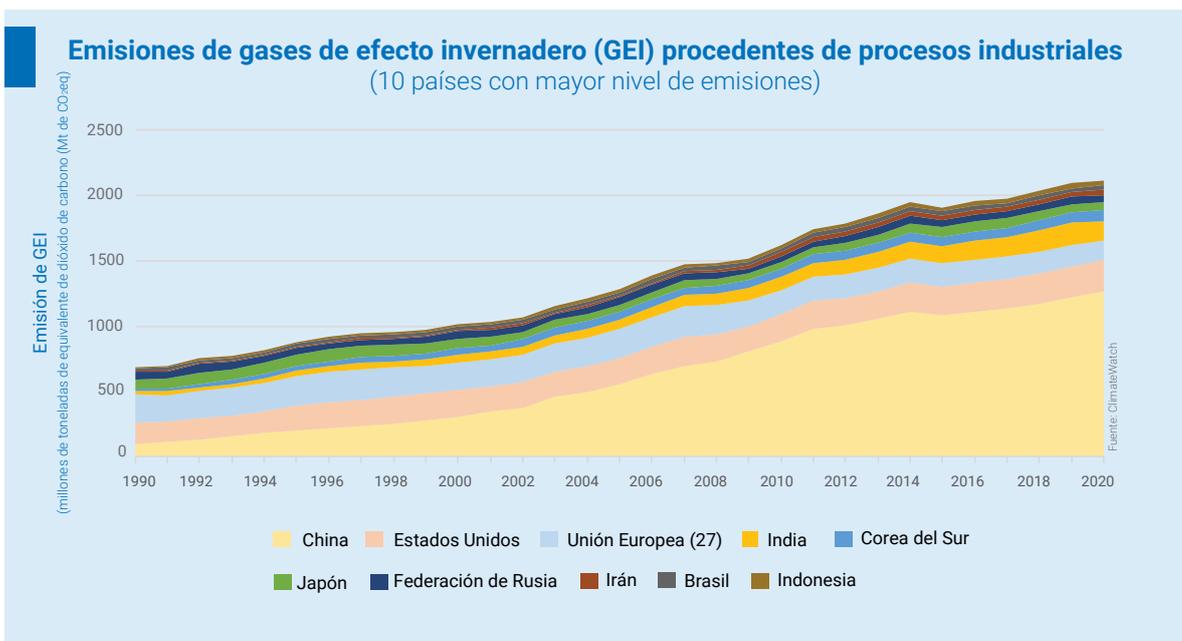
El sector químico es un proveedor esencial de materiales para una amplia gama de productos como plásticos, fertilizantes y productos farmacéuticos. Sus emisiones se derivan principalmente de tres fuentes de generación de calor (aproximadamente el 40 %), el consumo de electricidad (aproximadamente el 29 %) y las emisiones directas de proceso

Gestionar las necesidades de calor y electricidad del sector industrial en la transición energética

Una de las principales tendencias en la transición energética es el impulso hacia la electrificación a gran escala, incluso en las actividades industriales. Sin embargo, esta estrategia de “electrificación completa” plantea notables desafíos, sobre todo en cuanto a la satisfacción de las necesidades de calor y electricidad del sector industrial, que son distintas de las de los recursos conectados a la red y exclusivamente eléctricos, ya que siguen el perfil de carga de un sistema de producción combinada de calor y electricidad de tipo “detrás del contador”. El primer desafío es el uso simultáneo de calor y electricidad, y el segundo, el requisito de sólida fiabilidad, disponibilidad y seguridad en el proceso. Hay varias



En 2022, el 37 % del uso de energía a escala mundial correspondió al sector industrial, que fue responsable directo de la emisión de 9 gigatoneladas de dióxido de carbono, es decir, el 25 % de las emisiones de dióxido de carbono del sistema energético en el mundo.



(aproximadamente el 24 %). Además, el 80 % de las emisiones operacionales proceden de fuentes puntuales in situ. La adopción de la energía nuclear in situ puede proporcionar calor y electricidad limpios para estos procesos químicos esenciales.

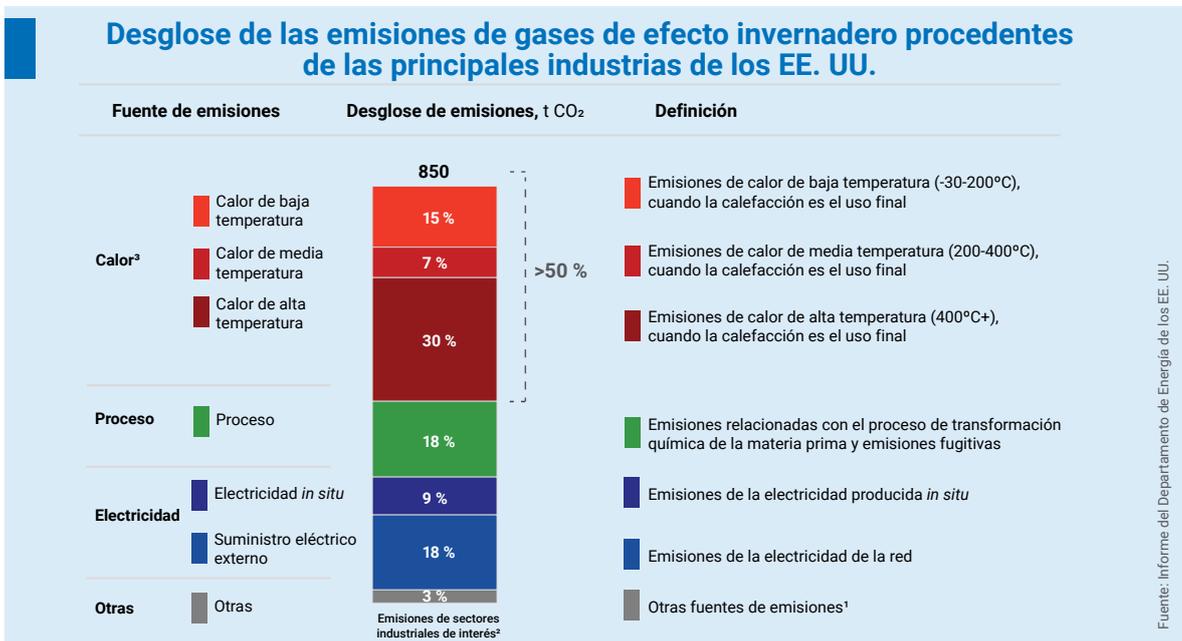
Otro sector en expansión es el de los centros de datos, que aumentan la demanda mundial de electricidad. El uso de electricidad combinado de Amazon, Microsoft, Google y Meta aumentó más del doble entre 2017 y 2021. Se prevé que el consumo de electricidad de los centros de datos superará los 1000 TW-h de aquí a 2026 y aumentará aún más con el auge de la inteligencia artificial (IA). En consecuencia, varias grandes empresas tecnológicas están considerando fuentes de energía nucleoelectrónica avanzadas, como los SMR, como una futura opción de energía limpia.

Los SMR podrían ayudar a satisfacer las necesidades de la industria mediante un modelo de despliegue que, en vez de basarse en un proyecto de gran envergadura a medida, se base

en productos construidos en fábricas utilizando un diseño, una cadena de suministro y un proceso de entrega preestablecidos. Este enfoque reduciría los costos, mejoraría la eficacia y garantizaría un calendario de construcción previsible. Proporcionaría una solución de bajo riesgo comercial, eficaz en función del costo, reproducible y ampliable que se ajusta a los objetivos de la industria y contribuye al logro de los objetivos mundiales de descarbonización.

La descarbonización industrial no se puede alcanzar solamente con centrales nucleares tradicionales: se necesitan nuevos modelos de producción que se ajusten al proceso rápido y predecible de despliegue de activos que las empresas usan hoy en día.

Gracias a enfoques radicalmente nuevos de diseño, licenciamiento y producción de tecnologías de energía limpia, combinados con el aprovechamiento de herramientas digitales nuevas, la energía nuclear avanzada podrá aportar una solución para un futuro energético sostenible, equitativo y resiliente.



Los centros de datos, la inteligencia artificial y las criptomonedas contemplan la energía nuclear avanzada para satisfacer sus crecientes necesidades de electricidad

Jeffrey Donovan

En vista de que los centros de datos, la inteligencia artificial (IA) y las criptomonedas están llamados a aumentar su consumo de electricidad en los próximos años, las grandes empresas tecnológicas están considerando activamente la posibilidad de utilizar tecnologías nucleares avanzadas como los reactores modulares pequeños (SMR) como fuentes de energía limpia, fiable y flexible. Esto podría dar lugar a una nueva vía para la comercialización de SMR y otros reactores avanzados en mercados a los que todavía no han llegado.

Los centros de datos (que albergan los servidores y los equipos informáticos necesarios para almacenar información digital), la IA y las criptomonedas están impulsando un aumento de la demanda de electricidad en varias regiones. A todos ellos juntos correspondió el 2 % del consumo de electricidad a nivel mundial en 2022, cifra que puede duplicarse de aquí a 2026, según la Agencia Internacional de Energía (AIE). El consumo combinado de electricidad de solo cuatro empresas —Amazon, Microsoft, Google y Meta— aumentó más del doble entre 2017 y 2021, hasta alcanzar unos 72 teravatios-hora (TW-h).

Al tiempo que procuran satisfacer sus crecientes necesidades de electricidad, las grandes empresas tecnológicas también quieren descarbonizar sus operaciones, ya sea porque así lo exige la legislación o para cumplir sus propios objetivos de sostenibilidad. Para lograrlo, están considerando la posibilidad de utilizar no solo fuentes de electricidad renovables variables,

como la energía solar y la eólica, sino también tecnologías nucleares avanzadas, como los SMR. En otras industrias que procuran obtener electricidad y calor limpios las 24 horas, como la petroquímica, se observa una tendencia similar.

“En algunas regiones, el camino hacia la implantación de la energía nucleoelectrónica avanzada puede pasar por grandes empresas del sector tecnológico industrial, que son las usuarias finales —afirma Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoelectrónica del OIEA—. Los SMR y otros reactores nucleares avanzados son idóneos para desempeñar un papel clave para estas empresas al suministrar la energía flexible y fiable baja en carbono que estas necesitan para llevar adelante sus operaciones”.

En 2022, los centros de datos consumieron unos 460 TW-h de electricidad, según la AIE. De aquí a 2026 esa cifra podría ascender a más de 1000 TW-h, que es más de un tercio de la electricidad total generada por las centrales nucleares del mundo el año pasado y que equivale aproximadamente al consumo eléctrico del Japón.

Se prevé que en China la demanda de electricidad de los centros de datos se duplicará hasta alcanzar los 400 TW-h de aquí a 2030 frente a 2020. En el noreste de los Estados Unidos de América, se prevé que los centros de datos impulsarán cada vez más la demanda de electricidad. El mercado europeo de

En 2022, los centros de datos consumieron unos 460 TW-h de electricidad, según la AIE.

De aquí a 2026 esa cifra podría ascender a más de 1000 TW-h, que es más de un tercio de la electricidad total generada por las centrales nucleares del mundo el año pasado y que equivale aproximadamente al consumo eléctrico del Japón.



los centros de datos también está evolucionando rápidamente. La demanda de electricidad de los centros de datos en Irlanda, por ejemplo, fue de 5,3 TW-h en 2022, cifra que equivale al 17 % del consumo total de electricidad registrado en ese país. La AIE ha declarado que “a este ritmo, los centros de datos de Irlanda podrían duplicar su consumo de electricidad de aquí a 2026, y con la rápida entrada de las aplicaciones de IA en el mercado, prevemos que el sector alcanzará el 32 % de la demanda total de electricidad del país en 2026”.

Buscando soluciones a estas necesidades emergentes, tanto Google como Microsoft publicaron recientemente informes en los que se examina la forma en que la energía nuclear avanzada, junto con otras fuentes de electricidad limpias, puede apoyar sus objetivos empresariales y de sostenibilidad. “Sabemos que la energía eólica, la energía solar y las baterías serán fundamentales para descarbonizar la energía que consumimos, pero también necesitamos tecnologías de electricidad estable y distribuible que no generen emisiones de carbono para proceder a esa descarbonización de forma eficaz en función del costo”, señala Devon Swezey, Directivo Superior, Global Energy and Climate, Google.

Habida cuenta de que los centros de datos, la IA y las empresas de criptomoneda buscan fuentes de electricidad de carga base limpias y fiables para llevar adelante sus operaciones y alcanzar los objetivos de descarbonización, los proveedores de tecnología nuclear avanzada están atentos a la situación. “La energía nuclear es obviamente la mejor solución a estos dos problemas, entonces lo que queda por definir es cómo suministrarla de la forma más eficaz”, declara Bret Kugelmass, Fundador y Director Ejecutivo de Last Energy, empresa proveedora de microrreactores con sede en los Estados Unidos.

Los usuarios finales de electricidad, como las empresas tecnológicas, necesitan el tipo de energía limpia y estable que puede proporcionar la energía nuclear avanzada. Al mismo tiempo, pueden ayudar a superar los obstáculos a la implantación que dificultan la llegada de estas tecnologías al mercado.

En su reciente informe de políticas sobre el uso de la fusión y la fisión nuclear avanzada como instrumentos de

descarbonización, Microsoft cita una serie de esferas en las que la empresa y otras partes interesadas pueden promover la búsqueda de soluciones a esos obstáculos. Entre otras, se mencionan la aceleración de la investigación y el desarrollo, la puesta en marcha de programas para probar nuevas tecnologías y modelizarlas para su integración con otras fuentes bajas en carbono, el fomento de los enfoques de reglamentación para una implantación segura y eficaz en función del costo y el aprovechamiento de las posibilidades que ofrecen las tecnologías digitales, incluida la IA, en la gestión de las nuevas tecnologías energéticas y la red.

Google lo ve de forma similar: “Los compradores corporativos pueden ayudar a reducir los obstáculos a la comercialización de estas tecnologías, incluida la nuclear avanzada —dice Swezey—. Esperamos trabajar con otros compradores de energía limpia para ampliar estas tecnologías en los próximos decenios y conseguir electricidad limpia las 24 horas, no solo para Google, sino para el mundo entero”.

La financiación de proyectos nucleares de nueva construcción sigue siendo un desafío en varios mercados del mundo, dados sus generalmente elevados costos de capital y extensos plazos de construcción. En cambio, se espera que los SMR y los microrreactores, que son más pequeños y se construyen en fábrica, requieran menores costos por adelantado y plazos de construcción más breves. Al igual que las empresas del sector tecnológico, las de otros sectores, como Dow Chemicals, buscan desplegar SMR para que la fuente de energía de sus operaciones no sea solo la electricidad descarbonizada, sino también el calor de alta temperatura.

El resultado, según Kugelmass, puede ser una nueva vía para la implantación de la energía nucleoelectrónica: “Ofrecer la energía nuclear en un formato más pequeño —a microescala, de hecho— y modular es la clave para hacerla asequible para la industria privada. Fundamentalmente, también es la clave para desarrollar proyectos con capital puramente privado. Si somos capaces de crear un modelo de energía nuclear que dependa exclusivamente de la financiación privada, podremos desarrollar proyectos de forma más eficiente y aprovechar los beneficios de la energía nuclear a escala”.

energía nuclear avanzada

Gestionar el desarrollo nuclear

La versatilidad del enfoque de los hitos del OIEA

Wolfgang Picot

El camino hacia la energía nuclear es una empresa compleja, y el enfoque de los hitos del OIEA ha surgido como un marco crucial para los países que inician su recorrido de esta intrincada senda. Para muchos de ellos —desde los que se encuentran en la fase de incorporación, como Ghana y Estonia, hasta los que ya cuentan con programas nucleoelectricos consolidados e intentan conseguir su ampliación o planificación estratégica— la naturaleza estructurada del enfoque de los hitos ha demostrado ser versátil e indispensable.

El enfoque de los hitos del OIEA es un método gradual y exhaustivo diseñado para ayudar a los países a desarrollar sus programas nucleoelectricos. El método es fundamental: proporciona una hoja de ruta a las naciones que abarca desde las primeras fases de consideración de la energía nucleoelectrica hasta la fase operacional, proceso que lleva aproximadamente entre 10 y 15 años.

Seth Kofi Debrah, de la Comisión de Energía Atómica de Ghana (GAEC), explica la importancia del enfoque de los hitos: “El enfoque de los hitos ofrece una hoja de ruta de muy alto nivel y orientaciones sobre la manera de prepararse. Para un país en fase de incorporación, desarrollar un proyecto de infraestructura de semejante importancia es todo un desafío. El enfoque de los hitos proporciona una estructura formal exhaustiva para desarrollarlo”.

Ghana, uno de los países que adoptará la energía nucleoelectrica, ha creado la Organización del Programa Nucleoelectrico de Ghana (GNPPO) para coordinar las actividades preparatorias. La hoja de ruta del país, que abarca 15 años y se estructura en torno a las tres fases del enfoque de los hitos del OIEA, prevé añadir entre 700 y 1000 megavatios (eléctricos) (MW(e)) a la red nacional de aquí a 2030.

Estonia, por su parte, también apuesta por la energía nucleoelectrica como opción fiable y baja en carbono. Reelika Runnel, Coordinadora del Grupo de Trabajo sobre Energía Nuclear de Estonia, destaca que el enfoque de los hitos le proporcionó un punto de partida: “Ofrece una visión general sobre la cantidad de trabajo que se necesita para establecer un programa nuclear y aborda todos los temas relacionados con la energía nucleoelectrica. Tranquiliza a los responsables de la toma de decisiones a nivel político en el sentido de que pueden tomar decisiones basadas en las experiencias del OIEA, a partir de las experiencias de muchos Estados Miembros”.

A medida que evoluciona el panorama energético, los proyectos tradicionales de energía nucleoelectrica a gran escala en parte están dando paso a los reactores modulares pequeños (SMR). Estonia, consciente de este cambio, está considerando los SMR dadas sus limitaciones para dar cabida a reactores grandes en su relativamente pequeña red eléctrica. “El enfoque de los hitos también es plenamente aplicable a los SMR. Aunque el concepto de los SMR difiere del de los reactores convencionales, se aplica el mismo conjunto de reglamentos”, afirma la Sra. Runnel.

Seth Kofi Debrah se hace eco de esta opinión y subraya que el enfoque de los hitos sigue siendo una herramienta crucial, independientemente del tamaño de los reactores: “Ya sean grandes o pequeños, se necesitarán los hitos como guía. El gobierno tiene que decidir y establecer las leyes y los reglamentos necesarios, y se necesita un operador que financie y explote el reactor, igual que sucede con los reactores más grandes. Todo está ahí, y el enfoque de los hitos sigue siendo una herramienta útil para los países en fase de incorporación”.



Los SMR son instalaciones nucleares y, en ese sentido, se aplican en general las 19 cuestiones de infraestructura del enfoque de los hitos. Sin embargo, una próxima versión revisada de *Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional de energía nucleoelectrónica* —la publicación de orientación relativa al enfoque de los hitos— aborda aspectos de infraestructura que pueden implementarse o considerarse de forma diferente en un contexto de despliegue de SMR, cuando proceda. La publicación tiene un anexo separado en el que se exponen las consideraciones de infraestructura específicas para los SMR.

Los SMR también difieren de sus “hermanos” mayores en que los reactores se construían y explotaban tradicionalmente en un solo país. En cambio, el método de construcción modular de los SMR permite construirlos en un país y transportarlos, ensamblarlos y explotarlos en otro. Por este motivo, los requisitos aplicables pueden tener que pasar a formar parte de un sistema más internacionalizado en el que haya consenso sobre los reglamentos y reconocimiento mutuo de estos entre las partes interesadas. A este respecto, el enfoque de los hitos actúa en sinergia con la Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear (NHSI) del OIEA.

Inicialmente concebido para los países que inician programas nucleares, el enfoque de los hitos está demostrando tener igual pertinencia para los actores que ya cuentan con programas establecidos y buscan optimizar o planificar estratégicamente sus capacidades nucleares. Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoelectrónica del OIEA, señala su papel en la evaluación de la infraestructura nuclear: “Observamos que en Europa ahora mismo varios países tienen intención de reiniciar proyectos o ampliar los existentes. La metodología del enfoque de los hitos puede ayudar a evaluar su infraestructura nuclear actual”.

Incluso para los países con experiencia operacional nuclear, a la hora de construir nuevos reactores es beneficioso reevaluar la madurez de su infraestructura existente para el final de la fase 2 para saber si tienen deficiencias en comparación con el nivel que recomienda el OIEA antes de iniciar la construcción.

Cuando se detectan deficiencias, el OIEA puede apoyar a los países en fase de ampliación en ámbitos como las cadenas de suministro, las redes energéticas, los recursos humanos y otros aspectos de la infraestructura en sentido amplio.

La adaptabilidad y la versatilidad del enfoque de los hitos cobra aún más pertinencia a la luz de las perspectivas anuales del OIEA sobre el estado de la energía nucleoelectrónica, que prevé un aumento significativo de la capacidad nuclear instalada hasta alcanzar los 890 gigavatios (GW) para 2050, lo que pone de relieve la contribución potencial del sector a la consecución de emisiones netas cero. Esta tendencia irá en alza: líderes de 22 países de cuatro continentes se reunieron el 2 de diciembre de 2023 y anunciaron una declaración para promover el ambicioso objetivo a nivel mundial de triplicar la capacidad de energía nucleoelectrónica en todo el mundo de aquí a 2050. Alrededor de 30 países participarán en la primera edición de la Cumbre sobre Energía Nuclear, que se celebrará en Bruselas en marzo de 2024 y estará copresidida por el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, y el Primer Ministro de Bélgica, Alexander De Croo, haciendo hincapié con ello en el nuevo impulso que está cobrando la energía nucleoelectrónica.

“Para un país en fase de incorporación, desarrollar un proyecto de infraestructura de semejante importancia es todo un desafío. El enfoque de los hitos proporciona una estructura formal exhaustiva para desarrollarlo”.

— Seth Kofi Debrah,
Comisión de Energía Atómica
de Ghana

Gracias a su adaptabilidad y versatilidad, el enfoque de los hitos seguirá siendo importante a la hora de forjar el futuro de la energía nuclear y su contribución, esencial para afrontar desafíos mundiales como la reducción del consumo de combustibles fósiles y la mejora de la seguridad energética.



La iniciativa Atoms4NetZero del OIEA ayuda a los países a aprovechar la capacidad de la energía nuclear para lograr unas emisiones netas cero

Jeffrey Donovan

El camino hacia unas emisiones netas cero implica una serie de decisiones complejas. Los responsables de la formulación de políticas deben trazar un rumbo energético basado en los recursos disponibles, las tecnologías energéticas (incluidas las que aún están en desarrollo) y los costos. Aprovechando la modelización avanzada de escenarios energéticos, la iniciativa Atoms4NetZero del OIEA ayuda a los países a tomar decisiones con base científica sobre todo el potencial de la energía nuclear —no solo en el sector de la generación de electricidad— con el fin de preparar la transición hacia unas emisiones netas cero de gases de efecto invernadero (GEI).

“El primer paso que debe dar un país que procura alcanzar sus objetivos de emisiones netas cero es evaluar su infraestructura energética existente, incluidas las fuentes de generación de electricidad, las redes de transmisión y las modalidades de consumo —afirma Henri Paillere, Jefe de la Sección de Estudios Económicos y Planificación del OIEA—. Analizando los datos pasados y presentes, y modelizando la demanda energética futura, los responsables de la formulación de políticas pueden determinar esferas susceptibles de mejora y priorizar las inversiones para construir sistemas energéticos limpios y resilientes”.

Cada vez son más los países interesados en incorporar o ampliar la energía nucleoelectrica. En la COP28, celebrada en Dubái, más de 20 países se comprometieron a trabajar para triplicar la capacidad nuclear con el fin de alcanzar unas emisiones netas cero. En la actualidad se están construyendo en 17 países unos 60 reactores nucleares de potencia con una capacidad total de aproximadamente 60 gigavatios (eléctricos) (GW(e)),

y más de un tercio de ellos se encuentran en China, el principal constructor de reactores del mundo. La Agencia Internacional de la Energía afirma que la capacidad nuclear mundial debe duplicarse con creces de aquí a 2050 para alcanzar unas emisiones netas cero, nivel que coincide con la hipótesis alta de las proyecciones anuales del OIEA respecto de la energía nucleoelectrica hasta 2050.

No obstante, para lograr unas emisiones netas cero hace falta algo más que electricidad limpia. Mediante portadores de calor y energía con bajas emisiones de carbono como el hidrógeno, se necesitará la descarbonización de sectores en los que esta tarea resulta difícil como la petroquímica, la fabricación del acero y del cemento y el transporte, que en conjunto son responsables prácticamente del 60 % de las emisiones de GEI.

Atoms4NetZero evalúa el potencial de la energía nuclear para elaborar escenarios verosímiles que permitan alcanzar ese objetivo utilizando instrumentos analíticos del OIEA como el Modelo de Opciones Estratégicas de Suministro de Energía y Repercusiones Ambientales Generales (MESSAGE), que combina tecnologías y combustibles para construir “cadenas energéticas”, posibilitando así el trazado de los flujos energéticos desde el suministro (extracción de recursos) hasta la demanda (servicios energéticos). Entre los instrumentos de modelización empleados se encuentran el Modelo para el Análisis de la Demanda de Energía, que señala los cambios estructurales necesarios para lograr unas emisiones netas cero, y el Marco de Modelización de Sistemas Energéticos, que evalúa y cuantifica el papel y el valor de las tecnologías energéticas limpias, incluida la nuclear, en la planificación y las operaciones de los sistemas energéticos.

EMISIONES
NETAS CERO

En su enfoque de modelización de escenarios energéticos, **Atoms4NetZero** se aparta significativamente de las prácticas mundiales actuales. “Hasta ahora, la energía nuclear ha tenido un papel bastante limitado en los estudios de escenarios energéticos utilizados por gobiernos e inversores para trazar la transición hacia unas emisiones netas cero —explica Carolyn Scherer, Jefa de la Sección del Proyecto Internacional sobre Ciclos del Combustible y Reactores Nucleares Innovadores del OIEA—. Esta iniciativa tiene por objeto colmar esa laguna proporcionando un panorama más completo del potencial de la energía nuclear, que tiene un historial comprobado en la mitigación de las causas del cambio climático, al tiempo que aporta resiliencia a sus consecuencias, y en la mejora de la seguridad energética y el desarrollo sostenible”.

Por supuesto, las fuentes renovables variables, como la eólica y la solar, están llamadas a desempeñar un papel central en la transición hacia sistemas energéticos limpios. También en este caso, la modelización energética **Atoms4NetZero** puede prestar un servicio clave al ayudar a los responsables de la formulación de políticas a optimizar la integración de energías renovables en la canasta energética mediante la evaluación de la disponibilidad de recursos y de las repercusiones en la estabilidad de la red. “Combinando la energía nucleoelectrica con las energías renovables, los países pueden establecer un sistema energético más seguro, resiliente y sostenible”, declara Paillere.

“Los escenarios de modelización energética considerados en el marco de **Atoms4NetZero** son importantes porque, especialmente en África, nos enfrentamos a una grave situación de déficit energético, y nuestros responsables de la formulación de políticas están contemplando distintas opciones —sostiene Eno Bot Agboraw, Secretario Ejecutivo de la Comisión Africana de Energía Nuclear—. Están considerando la energía nucleoelectrica, así como las energías renovables, y es muy importante que estén bien informados para poder tomar las mejores decisiones posibles. La modelización energética aporta pruebas con base científica que posibilitan la toma de decisiones no basadas en rumores o emociones, sino decisiones sólidas que nos permitan afrontar esta cuestión del cambio climático y el déficit energético”.

Atoms4NetZero se basa en la consolidada labor del OIEA con los países en materia de planificación energética tecnológicamente neutra, enfoque que evalúa y selecciona

de forma imparcial fuentes de energía en función de su rendimiento. Por medio de su programa de cooperación técnica, el OIEA presta apoyo a los esfuerzos de planificación energética de los países valiéndose de instrumentos de modelización como los modelos MESSAGE y de prueba de la planificación de sistemas. Desde 2021, el OIEA colabora con la Agencia Internacional de Energías

Renovables para prestar asistencia a la Unión Africana en la elaboración de una estrategia de desarrollo de infraestructuras energéticas conocida como el Plan Maestro de Sistemas Eléctricos Continentales. Esta estrategia permitirá que África compare distintos escenarios energéticos y mancomune recursos para invertir en fuentes de energía sostenibles con el fin de resolver los crecientes desafíos energéticos del continente.

Atoms4NetZero también llevará a cabo análisis y estudios tecnoeconómicos —como un análisis comparativo de fuentes de energía bajas en carbono para un país o región—, posiblemente en colaboración con partes interesadas como países, usuarios finales, organizaciones de investigación, la industria, instituciones financieras y otras organizaciones y organismos internacionales. La iniciativa abarca otras esferas de actividad para ayudar a los países en su transición hacia una energía limpia. Entre ellas figuran un servicio de asesoramiento, talleres y capacitación para la creación de capacidad, la divulgación y la participación de las partes interesadas.

Atoms4NetZero colabora actualmente con investigadores estonios en la incorporación de estrictas limitaciones de carbono al modelo MESSAGE del país para escenarios de emisiones netas cero en lo relativo a la generación de electricidad y la producción de calor hasta 2050. Estonia, país que obtiene la mayor parte de su electricidad de combustibles fósiles, está considerando la posibilidad de implantar la energía nucleoelectrica y desplegar reactores modulares pequeños en particular.

IAEA

ATOMS 4 NET ZERO

ayuda a los países a tomar decisiones basadas en la ciencia para aprovechar todo el potencial de la energía nuclear.



Más información aquí

Normas para el éxito

Iniciativa del OIEA para impulsar el despliegue de reactores modulares pequeños

Matt Fisher, Pekka Pyy y Brett Rini

Mientras la comunidad mundial trabaja para lograr los ambiciosos objetivos establecidos en el Acuerdo de París, de 2015, el consenso es cada vez más claro: la energía nuclear tiene un papel destacado que desempeñar en la descarbonización de los sectores energético e industrial. Sin embargo, para ampliar la implantación de la energía nucleoelectrónica a gran escala, entre otras formas mediante el uso de tecnologías avanzadas como los reactores modulares pequeños (SMR), se necesitan enfoques novedosos que permitan ejecutar los proyectos de nueva construcción de forma sostenible y a precio de costo, así como garantizar un elevado nivel de seguridad tecnológica y seguridad física.

La Iniciativa de Armonización y Normalización Nuclear (NHSI) del OIEA, puesta en marcha en 2022, tiene como

objetivo facilitar el despliegue de SMR en condiciones de seguridad tecnológica y física, así como otros reactores avanzados mediante enfoques de reglamentación armonizados y la normalización industrial.

Centrándose en el desarrollo, la fabricación y la construcción normalizados, los miembros de la vía industrial de la NHSI tienen previsto publicar este año dos libros blancos: uno en el que se ofrecen orientaciones sobre los desafíos que plantea la armonización de las inspecciones de componentes de elevada integridad importantes para la seguridad, y otro en el que se subraya la necesidad de armonizar mejor los códigos y las normas no nucleares entre las distintas jurisdicciones. Está prevista la publicación

de un tercer libro blanco sobre medidas prácticas para la colaboración temprana en el uso de componentes de grado industrial de alta calidad en los sistemas de seguridad. Los miembros de la vía reguladora de la NHSI, que se centran en el desarrollo de procesos que mejoran la cooperación en materia de reglamentación, están elaborando una publicación exhaustiva para apoyar la cooperación de esta índole en el examen del diseño y poniendo en marcha un proceso de examen multinacional de la reglamentación que permitirá a los reguladores realizar exámenes conjuntos del diseño de SMR.

En vías de mejorar la eficacia

Por su diseño, los SMR se producen en una fábrica y se instalan en el emplazamiento, lo que reduce los costos y acorta los plazos de construcción, y su tamaño relativamente pequeño, de hasta unos 300 megavatios (eléctricos) (MW(e)) por unidad, puede permitir su despliegue en zonas no aptas para reactores grandes. Sin embargo, el carácter singular de muchos componentes nucleares puede producir cuellos de botella en la cadena de suministro, puesto que la fabricación de artículos a medida, junto con los procedimientos de inspección actuales, puede alargar considerablemente el proceso de producción.

El avance hacia un modelo de diseño de reactores basado en elementos producidos en serie y la armonización de los requisitos entre reguladores y usuarios finales de distintas jurisdicciones permitirían reducir considerablemente el tiempo y el esfuerzo necesarios para poner en funcionamiento los SMR y otros reactores avanzados.

“El proceso para obtener aprobación para utilizar tecnologías a medida es difícil y a menudo extenso, ya que los reguladores nucleares en la actualidad no permiten el uso de componentes industriales estándar no nucleares para aplicaciones de seguridad en instalaciones nucleares —afirma Matheus Abbt, Asesor Superior de Tecnología Nuclear de la empresa eléctrica sueca Vattenfall—. La conciliación entre los requisitos de seguridad nuclear y las normas pertinentes del sector podría ayudar a superar los desafíos que plantea la cadena de suministro y facilitar un despliegue más rápido de los SMR”.

Racionalizar el proceso

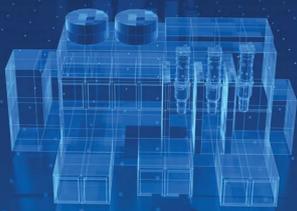
Otro motivo de preocupación es la existencia de diferentes protocolos de inspección para los artículos con largo plazo de entrega o con plazos de producción lo suficientemente extensos como para repercutir en la fecha de entrega



tiene por objeto facilitar el despliegue, en condiciones de seguridad tecnológica y física, de SMR y otros reactores avanzados mediante enfoques de reglamentación armonizados y la normalización industrial.



Más información aquí



del proyecto final. Las vasijas de presión, por ejemplo, generalmente deben ser inspeccionadas por el cliente final con la participación de los reguladores o sus organizaciones notificadas, empezando por la selección de materiales y siguiendo a lo largo de cada fase de fabricación. Esto supone una importante carga de tiempo y se traduce en la posible redundancia de las inspecciones. Por el contrario, la conclusión de un proceso racionalizado mucho antes de la presentación de una solicitud de licencia de construcción permitiría que los proyectos de SMR se ejecutaran en plazos más breves.

“Mediante el reconocimiento mutuo de algunas actividades de inspección de artículos con largo plazo de entrega, se puede reducir notablemente el período de ejecución de los proyectos y los riesgos de fabricación —señala Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoeléctrica del OIEA—. Esto podría ser especialmente beneficioso cuando aumenta la producción y se fabrican simultáneamente artículos con largo plazo de entrega para SMR destinados a distintas jurisdicciones. En esos casos se presenta una excelente oportunidad para optimizar los recursos”.

Las centrales nucleares están sujetas a un amplio conjunto de normas, que en muchos casos quedan fuera del ámbito de actuación de los órganos reguladores nucleares. En una reunión técnica celebrada a finales de 2023, un grupo de trabajo de la vía industrial de la **NHSI** analizó posibles soluciones a los desafíos que presentan los códigos y normas no nucleares. Se sugirió alentar a los propietarios de los proyectos y los operadores a dialogar desde el principio con los organismos gubernamentales competentes y a trabajar conjuntamente con los proveedores también en etapas tempranas para reforzar la cadena de suministro reduciendo los riesgos comerciales, de proyecto y de gestión de la calidad que pudieran existir en las zonas de despliegue propuestas. Además, es esencial comprender la dinámica de las adquisiciones y garantizar el cumplimiento de los reglamentos locales y nacionales para que los proyectos se completen en el plazo y con el presupuesto previstos.

Un marco mundial para el examen de la reglamentación

La aspiración a largo plazo de la vía reguladora de la **NHSI** es avanzar hacia el desarrollo de un marco mundial para el examen de la reglamentación en relación con el diseño de reactores nucleares avanzados, en particular los SMR. Este marco podría presentarse como un conjunto de documentos y procedimientos que describiera sucintamente los requisitos

de reglamentación comunes y la forma de cumplirlos, lo que permitiría realizar de forma conjunta exámenes de la reglamentación en relación con reactores avanzados. También facilitaría la puesta en común de exámenes y recursos, así como el logro de un resultado en forma de examen conjunto.

“La cooperación entre los reguladores durante los exámenes de la reglamentación en relación con el diseño de reactores avanzados es el primer paso para el desarrollo de un marco de estas características. La vía reguladora de la **NHSI** ha elaborado enfoques para la colaboración en exámenes de la reglamentación. Expertos de órganos reguladores concibieron estos enfoques, que tienen en cuenta las observaciones del sector”, afirma Anna Bradford, Directora de la División de Seguridad de las Instalaciones Nucleares del OIEA.

La vía reguladora de la **NHSI** ha investigado soluciones que posibilitarían el intercambio de información entre los órganos reguladores durante los exámenes y tiene previsto redactar un memorando de cooperación, en concreto un acuerdo general y no vinculante, que demostraría la aspiración de los órganos reguladores signatarios a trabajar en conjunto e intercambiar información. Por otra parte, la vía reguladora está elaborando un examen multinacional de la reglamentación en relación con los diseños para el proceso previo a la concesión de la licencia que permitiría a los reguladores evaluar conjuntamente esferas técnicas específicas de los diseños de reactores propuestos y señalar cuestiones técnicas que podrían presentar dificultades o suscitar dudas durante la posterior evaluación nacional de la reglamentación. Gracias a este proceso, los participantes podrían definir esferas en las que existen importantes diferencias de reglamentación entre países, así como esferas en las que se necesitarían esfuerzos adicionales para ayudar a normalizar el diseño.

Además, la **NHSI** está desarrollando procesos que harían posible la colaboración entre reguladores durante los exámenes nacionales y el aprovechamiento de los exámenes realizados por otros reguladores, lo que produciría un ahorro de recursos para el regulador y el sector.

A medida que la **NHSI** avanza en su objetivo de maximizar su contribución para lograr unas emisiones netas cero de aquí al 2050, su labor va avanzando según lo previsto, y las conclusiones de la vía industrial y la vía reguladora se presentarán ante el pleno de la **NHSI** en junio y en la Conferencia Internacional sobre Reactores Modulares Pequeños y sus Aplicaciones del OIEA, que se celebrará en Viena en octubre de 2024.

Desarrollo de los recursos humanos del ámbito nuclear para un futuro de emisiones netas cero

Matt Fisher

El desarrollo de los recursos humanos del ámbito nuclear es fundamental para la ampliación y la sostenibilidad a largo plazo de la energía nucleoelectrica. Sin embargo, destaca como uno de los desafíos más importantes que se le presentan al sector debido a las rigurosas exigencias que impone a la fuerza de trabajo.

Para ayudar a crear y mantener la fuerza de trabajo necesaria para ampliar la energía nucleoelectrica a la escala prevista, el OIEA ofrece iniciativas de creación de capacidad como el Curso de Gestión de los Conocimientos Nucleares (NKMS), programas de formación en planificación estratégica, visitas de asistencia y oportunidades de becas. Estas iniciativas fueron concebidas para preparar a la próxima generación de profesionales y reforzar las aptitudes de la fuerza de trabajo actual para garantizar que se siga ampliando la energía nucleoelectrica en todo el mundo mientras nos esforzamos por alcanzar nuestros objetivos de emisiones netas cero.

A medida que sigue cambiando el panorama de la energía nucleoelectrica, siguen cambiando los desafíos del sector. Según un informe del OIEA publicado en 2023, los empleados de las instalaciones nucleares suelen tener más edad que los de otras instalaciones industriales de gran envergadura, lo que pone de relieve la necesidad de hacer hincapié en la retención de conocimientos a medida que más y más empleados con antigüedad se acercan a la jubilación. Las complejas tecnologías asociadas a las centrales nucleares requieren procesos más extensos de perfeccionamiento del personal, y las actividades de la esfera de la energía nuclear exigen niveles de supervisión excepcionalmente altos. Disponer de procesos

sólidos de desarrollo de los recursos humanos es indispensable para abordar estas y otras cuestiones.

“La creación de capacidad como proceso continuo y en constante mejora es fundamental para la ampliación de la energía nucleoelectrica —afirma Mikhail Chudakov, Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Energía Nuclear—. Con apreciables conocimientos especializados desarrollados durante casi siete decenios, el OIEA está bien equipado para ayudar a nuestros Estados Miembros a desarrollar los recursos humanos necesarios para alcanzar sus ambiciosos objetivos en materia de energía nucleoelectrica”.

Contar con una eficaz gestión del conocimiento es esencial para conservar años de información adquirida en ámbitos como el diseño, la concesión de licencias y la explotación, que resulta necesaria para mantener y desarrollar competencias. El NKMS es un curso de una semana de duración que ofrece enseñanza y capacitación especializadas sobre la ejecución de programas de gestión de los conocimientos nucleares en entidades de ciencia y tecnología del ámbito nuclear. Este curso, que abarca esferas como las nociones básicas de la gestión del conocimiento además de orientación práctica y prácticas óptimas, está diseñado para jóvenes profesionales que desempeñan funciones de gestión del conocimiento y ha sido acogido por varios Estados Miembros, más recientemente por los Estados Unidos de América, en la Universidad de Texas A&M, en 2023. En 2024 se conmemora el 20º aniversario del NKMS conjunto entre el OIEA y el Centro Internacional de Física Teórica Abdus Salam. Hasta la fecha, 1139 profesionales han recibido capacitación gracias al NKMS.



El servicio de Visitas de Asistencia para la Gestión de Conocimientos brinda un examen experto a los Estados Miembros que están interesados en implantar un programa de gestión del conocimiento o mejorar el que ya tienen. Las visitas se adaptan al nivel de madurez del programa de gestión del conocimiento y pueden proporcionar asesoramiento estratégico, capacitación especializada y otro tipo de apoyo pertinente.

Los grupos de trabajo que logran sus objetivos siempre están dirigidos por líderes con visión de futuro e iniciativa. El programa del Curso de Gestión de la Energía Nuclear (NEMS), al que presta apoyo el programa de cooperación técnica (CT) del OIEA, ayuda a los líderes del ámbito de la energía nuclear, tanto actuales como futuros, a aprovechar su talento y sacar el máximo partido de sus grupos. Con cursos de dos semanas de duración diseñados para jóvenes profesionales que muestran potencial de liderazgo, el programa incluye conferencias, visitas técnicas y estudios de caso para ayudar a reforzar las competencias técnicas y de gestión y dar a conocer los conocimientos del Organismo en esferas que abarcan todo el ciclo de vida de la energía nuclear. El Ministerio de Minería de Sudáfrica acogió el NEMS en noviembre de 2023, su 52ª edición desde la creación del programa en 2010. Durante 13 años, más de 2000 personas de diversas disciplinas han perfeccionado sus aptitudes profesionales gracias al programa, y casi la mitad de quienes participaron en los NEMS impartidos en 2023 fueron mujeres.

“He tenido la oportunidad de aprender sobre las distintas tecnologías que contribuyen a las emisiones netas cero, incluida la energía nucleoelectrica, y ha sido muy instructivo conocer cómo se integran en una organización la cultura de la seguridad y el liderazgo —señala Zeridah Kimanywenda, ingeniera civil del Ministerio de Energía y Desarrollo Mineral de Uganda, que asistió al NEMS realizado en Sudáfrica el pasado mes de noviembre—. El contenido está muy bien seleccionado y es pertinente para mi función”.

Aunque las mujeres han logrado algunos de los avances científicos más revolucionarios de la historia, siguen estando subrepresentadas en la mayoría de los ámbitos técnicos, si no en todos, incluido el nuclear. Con el fin de hacer frente a esta cuestión, el OIEA puso en marcha el Programa de Becas Marie Skłodowska-Curie (MSCFP) en 2020 y el Programa Lise Meitner (LMP) en 2023. El MSCFP alienta a las mujeres jóvenes a que se incorporen en el ámbito nuclear ofreciendo a las candidatas seleccionadas becas para cursar maestrías y la oportunidad de realizar una pasantía en el OIEA o en una organización asociada. En 2023 se concedieron 200 becas, la cifra más alta de todos los ciclos de presentación de candidaturas hasta la fecha. El LMP ofrece a las mujeres profesionales que se encuentran al principio o en mitad de su carrera la oportunidad de mejorar sus aptitudes mediante

un programa de visitas profesionales de varias semanas de duración. Las visitas suelen durar entre dos y cuatro semanas y pueden incluir el desarrollo y la ejecución de proyectos, así como tareas técnicas y debates.

Además del que brinda por medio de estos programas, el OIEA presta apoyo cada año a más de 1000 becarios del programa de CT y científicos visitantes a través del programa de CT. Como principal mecanismo del OIEA para brindar apoyo para el desarrollo a los Estados Miembros, el programa de CT —basado en los resultados y adaptado a los desafíos específicos que afrontan los países y las regiones— tiene como objetivo facilitar la cooperación entre los países para crear capacidad de forma sostenible, incluso mediante la cooperación Sur-Sur.

Para desarrollar la fuerza laboral del ámbito de la energía nuclear del mañana se necesitan programas de enseñanza específicos. La Academia Internacional de Gestión Nuclear (INMA), que fue creada en 2013, presta apoyo a las universidades para establecer y llevar a la práctica programas de maestría en gestión de la tecnología nuclear para el sector nuclear, entre los que se encuentran programas de energía nucleoelectrica, aplicaciones nucleares y tecnologías radiológicas. Estos programas combinan aspectos avanzados de gestión y liderazgo con tecnologías nucleares, proporcionando así apoyo y enseñanza de alto nivel a los futuros líderes del sector nuclear. Las misiones de examen por homólogos del OIEA realizadas en universidades candidatas que arrojan resultados favorables conducen a la aprobación del programa universitario por parte de la INMA. A 2024 hay diez universidades miembros en ocho países.

El OIEA mantiene la Cyberplataforma de Aprendizaje para la Enseñanza y Capacitación en Red (CLP4NET), un tesoro de recursos para el aprendizaje en línea a disposición del público. La plataforma incluye más de 1400 cursos de capacitación y unos 200 seminarios web sobre una amplia gama de temas relacionados con la energía nuclear, y los usuarios pueden elegir entre opciones de aprendizaje autodirigido o dirigido por un instructor.

Para ayudar a crear y mantener la fuerza de trabajo necesaria para ampliar la energía nucleoelectrica a la escala prevista, el OIEA ofrece iniciativas de creación de capacidad como el Curso de Gestión de los Conocimientos Nucleares (NKMS), programas de formación en planificación estratégica, visitas de asistencia y oportunidades de becas.

Qué significa para las actividades de verificación del OIEA la declaración sobre energía nuclear realizada en la COP28

Eva Morela Lam Redondo

El 2 de diciembre de 2023, durante la 28ª Conferencia de las Partes en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (COP28), evento de carácter anual, representantes de más de 20 países se reunieron para firmar la “Declaración para Triplicar la Energía Nuclear”, con el objetivo de alcanzar esa meta para 2050. Puesto que el mundo está deseoso de aprovechar los beneficios de la energía nuclear, triplicar la capacidad nuclear a escala mundial también contribuirá a otra tendencia mundial: el aumento

sostenido de los volúmenes de material nuclear y del número de instalaciones sujetas a verificación nuclear por el OIEA.

El OIEA cumple su misión de verificación nuclear mediante la aplicación de medidas técnicas comúnmente denominadas “salvaguardias” nucleares. Estas medidas permiten al OIEA verificar de forma independiente que los Estados cumplen sus obligaciones internacionales de utilizar el material nuclear únicamente con fines pacíficos.

“Entre 2010 y 2022 vimos un aumento del 34 % en

la cantidad de material nuclear y un aumento del 15 % en el número de instalaciones nucleares y lugares fuera de las instalaciones que están sometidos a las salvaguardias del OIEA —indica Massimo Aparo, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Salvaguardias del OIEA—. La Declaración para Triplicar la Energía Nuclear acelerará aún más estas tendencias. El OIEA está preparado para hacer frente a este desafío y seguir extrayendo conclusiones sobre el uso pacífico del material nuclear, pero para ello será necesario interactuar y cooperar de forma continua con todas las partes interesadas y adoptar tecnologías de verificación innovadoras”.

Para hacer frente al aumento de la demanda de sus servicios, el Departamento de Salvaguardias del OIEA busca continuamente aumentar la eficacia y la eficiencia de las salvaguardias del OIEA. Además, en virtud de los acuerdos de salvaguardias amplias, el OIEA está legalmente obligado a tener plenamente en cuenta los avances tecnológicos en el campo de las salvaguardias. Entre los ejemplos de avances tecnológicos recientes figuran el estudio de la inteligencia artificial y la robótica y su aprovechamiento en los procesos de verificación nuclear.

Para mantenerse al corriente de las nuevas tecnologías con aplicaciones potenciales prometedoras para las salvaguardias, el OIEA trabaja con sus programas de apoyo de los Estados Miembros (PAEM). Los PAEM prestan apoyo al OIEA de diversas formas, como la investigación y el desarrollo, el intercambio de conocimientos, la transferencia de tecnología, la colaboración de expertos y el apoyo financiero.

El dispositivo de observación de la radiación Cherenkov de próxima generación (XCVD) es un resultado notable y tangible del desarrollo de instrumentación de salvaguardias por parte del OIEA combinado con la facilitación de los PAEM y el apoyo a los ensayos sobre el terreno. El XCVD mejora sustancialmente la eficacia de la verificación y la calidad de los datos de las imágenes tomadas por los inspectores de salvaguardias del OIEA para verificar la presencia y la integridad del material nuclear en las piscinas de combustible gastado. En 2023 el XCVD se utilizó para la mayor campaña de verificación de combustible gastado de la historia del OIEA. Demostró ser ocho veces más eficaz que los métodos anteriores en la verificación satisfactoria del combustible nuclear gastado.

La aplicación de las salvaguardias es un esfuerzo de colaboración entre el OIEA y los Estados. Para ello, el OIEA también presta apoyo a los Estados en la tarea de desarrollar los conocimientos y las capacidades de su autoridad nacional encargada de la aplicación de las salvaguardias (ANR) y los de sus respectivos sistemas de contabilidad y control de material nuclear (SNCC). Este apoyo se materializa a través de diversos mecanismos de asistencia, como misiones de servicios de asesoramiento, cursos de capacitación, aprendizaje electrónico y seminarios web, asistencia del ámbito jurídico y reglamentario y el programa de capacitación en salvaguardias. Un avance significativo en el ámbito de la asistencia a los Estados en materia de salvaguardias es la integración de COMPASS, la Iniciativa Integral de Creación de Capacidad del OIEA para los SNCC y las ANR, en el conjunto de medidas de asistencia a los Estados en materia de salvaguardias del OIEA. La iniciativa COMPASS, puesta en marcha en 2020 y respaldada por los Estados Miembros del OIEA tanto pecuniariamente como en especie, se asocia con los Estados para ayudarles a reforzar la eficacia de sus ANR y sus SNCC. La iniciativa COMPASS ofrece apoyo específico a los Estados en ámbitos como la divulgación entre las partes interesadas, la capacitación a nivel nacional, los programas informáticos, las cuestiones jurídicas y reglamentarias y los recursos humanos, y de ese modo constituye una labor plurianual encaminada a crear y mejorar de forma sostenible la capacidad de los Estados.

“La iniciativa COMPASS ha cambiado las reglas del juego en Malasia. Nos ayudó mucho a detectar las deficiencias en la aplicación de las salvaguardias —afirma Nurul Hafiza binti Mohamed Aliasrudin, Subdirectora de la División de Instalaciones Nucleares del Departamento de Energía Atómica de Malasia—. En dos años COMPASS nos ha ayudado a revisar la reglamentación en materia de salvaguardias, a elaborar directrices técnicas y condiciones de licencia, así como a mejorar la capacitación dentro de la autoridad nacional de salvaguardias”.

El OIEA también mira hacia el futuro: a través de la incorporación de las salvaguardias en el diseño, orienta a las autoridades nacionales, diseñadores, proveedores de equipos y posibles compradores sobre la importancia de tener en cuenta las salvaguardias internacionales a la hora de diseñar un proceso o una instalación nuclear. Gracias a la incorporación de las salvaguardias en el diseño, una práctica óptima de carácter voluntario, se pueden tomar decisiones informadas en materia de diseño que optimizan los factores económicos, operativos, de seguridad tecnológica y de seguridad física, teniendo en

cuenta al mismo tiempo las salvaguardias internacionales. Esta práctica es aplicable a todos los aspectos del ciclo del combustible nuclear, desde la planificación inicial y el diseño hasta la construcción, la operación, la gestión de los desechos y la clausura. En el caso de las nuevas instalaciones nucleares, especialmente los diseños o procesos novedosos, cuanto antes se analice la cuestión de las salvaguardias, mejor. Este proceso permite incluir las salvaguardias dentro del diseño en vez de hacerlo en torno a él.

La “Declaración para Triplicar la Energía Nuclear” refleja un compromiso colectivo para impulsar la energía nuclear como parte de un futuro sostenible y con bajas emisiones de carbono. Este objetivo ambicioso también implicará un aumento de material nuclear e instalaciones sujetos a las salvaguardias del OIEA. El sistema de salvaguardias del OIEA utiliza tecnologías avanzadas y trabaja en cooperación tanto con los Estados que buscan ampliar su producción de energía nuclear como con los que apenas están comenzando y, gracias a ello, está preparado para satisfacer la creciente demanda de la comunidad internacional mientras que el mundo aspira a alcanzar emisiones netas cero.



El OIEA pone en marcha un proyecto de investigación sobre microplásticos en la Antártida

Científicos del OIEA viajaron por toda la Antártida este enero para medir la escala real de la contaminación por microplásticos en el continente.

Recogieron muestras de heces de pingüinos, agua, lodo y lapas que se enviarán para su análisis a los Laboratorios del OIEA para el Medioambiente Marino, situados en Mónaco.

Allí, los investigadores del OIEA aplicarán ciencias nucleares para medir la presencia de microplásticos —partículas de plástico con un diámetro inferior a 5 mm— y esperan descubrir la principal fuente de contaminación de este tipo.

Aunque los primeros indicios de microplásticos en el continente se hallaron en 2009 en la Antártida oriental, apenas se dispone de información sobre la magnitud del problema y sobre si la contaminación procede de ropa, neumáticos, botellas, procesos industriales u otras fuentes.

Asimismo, son muy escasos los datos sobre la cantidad de contaminación por plásticos que absorben los organismos antárticos y la forma en que los microplásticos llegan a la Antártida, ya sea como resultado de las corrientes oceánicas, la deposición atmosférica o la presencia humana en el continente.

Este proyecto de **NUTEC Plastics** se realiza conjuntamente con la Argentina y fue puesto en marcha por el Presidente de ese país, Javier Milei, y el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, en un evento conjunto celebrado en la Base Marambio en enero.

La primera expedición con fines de investigación científica del OIEA a la Antártida —el continente más meridional del mundo— se encuadra en los esfuerzos por combatir este problema medioambiental creciente, incluso en las zonas más remotas del planeta.



La misión se lleva a cabo en el marco de la iniciativa del OIEA llamada TECnología Nuclear para el Control de la Contaminación por Plásticos (NUTEC Plastics). Mediante una red de laboratorios de monitorización de NUTEC Plastics se están empleando técnicas nucleares e isotópicas para generar datos sobre la distribución de microplásticos en el mar, basándose en el muestreo y el análisis de la prevalencia de microplásticos en el medio ambiente. Esto aporta información valiosa para el desarrollo de sistemas que reduzcan la contaminación por plásticos.

El Presidente de la Argentina, Javier Milei, y el Director General del OIEA, Rafael Mariano Grossi, se sumaron al grupo científico del OIEA en la Base Antártica argentina Marambio, con motivo del comienzo de su misión.

El Director General Grossi ha afirmado que el hallazgo de microplásticos en el medio antártico, antaño virgen, es

testimonio de las repercusiones de este nocivo agente contaminante tan extendido: “Los microplásticos son un problema mundial, pero la comunidad internacional todavía carece de los datos científicos necesarios para tomar decisiones fundamentadas. He ahí el objetivo de NUTEC Plastics: al comprender el origen, el movimiento y el impacto de los plásticos, podemos adoptar decisiones fundamentadas sobre cómo hacer frente al problema”.

Desde que se establecieron en 1961, los Laboratorios del OIEA para el Medio Ambiente Marino, situados en Mónaco, han proporcionado a los países las herramientas y los conocimientos necesarios para comprender y abordar desafíos acuciantes para el medio ambiente marino. El OIEA alberga el único laboratorio para el medio ambiente marino del sistema de las Naciones Unidas.

NUTEC Plastics ofrece pruebas científicas que permiten evaluar la contaminación marina por microplásticos al tiempo que demuestra el papel que desempeña la radiación ionizante a la hora de reciclar plásticos y transformar desechos plásticos en recursos reutilizables.

Las labores del OIEA dirigidas a abordar y vigilar la presencia de microplásticos en la Antártida se lleva a cabo en cooperación con la Argentina.

— *Katy Laffan*

(Fotografía: K. Laffan/OIEA)

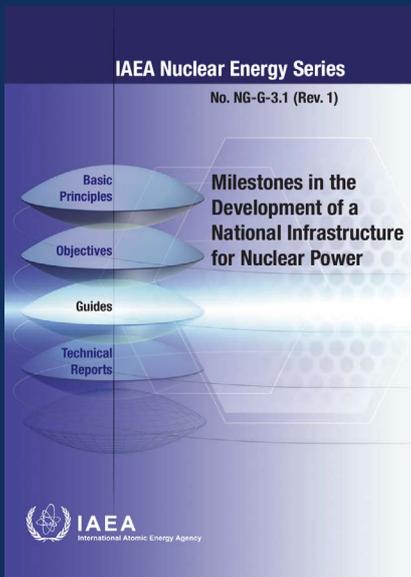


El helado continente antártico se considera una de las últimas zonas prístinas de la Tierra. No obstante, las investigaciones ya han demostrado que la contaminación por microplásticos está llegando al continente: los científicos del OIEA están tratando de descubrir la cantidad y el origen.

Los científicos del OIEA recogieron muestras de heces de pingüinos como parte de su investigación sobre los efectos que causan los microplásticos en los animales que viven en la Antártida.

(Fotografía: M. Klingenboeck/OIEA)

Se actualizan las orientaciones del OIEA sobre los hitos para incluir aspectos relacionados con los reactores modulares pequeños



Ha visto la luz una nueva versión de la publicación del OIEA titulada *Hitos en el desarrollo de la infraestructura nacional de energía nucleoelectrónica*, que se ha revisado para abordar cuestiones relacionadas con los reactores modulares pequeños (SMR).

La versión actualizada, que constituye una guía básica del OIEA sobre cómo prepararse para iniciar un programa nucleoelectrico o ampliar un programa existente, incluye un anexo en el que se esbozan aspectos específicos del despliegue de SMR y pone de relieve la experiencia reciente de varios países que han finalizado las tres fases o han realizado progresos importantes en ellas con tipos de reactores distintos de los definidos en el enfoque de los hitos del OIEA.

La publicación sobre los hitos fue editada originalmente en 2007 y revisada en 2015, y esta nueva edición se ofrece en el marco de otros materiales y orientaciones del OIEA de importancia para el desarrollo de la energía nucleoelectrónica en ámbitos como la seguridad tecnológica nuclear,

la seguridad física nuclear y las salvaguardias. En esta publicación se incorporan las enseñanzas extraídas de las misiones de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR) llevadas a cabo recientemente en países que inician o amplían programas nucleoelectricos.

Aunque se sigue previendo que en los próximos años la mayor parte de la nueva capacidad se generará en forma de grandes reactores refrigerados por agua, los SMR tienen cada vez más posibilidades de desempeñar un papel importante en la reducción de emisiones y el apoyo a la prosperidad sostenible. Los SMR están diseñados para producir normalmente un máximo de 300 megavatios (eléctricos) (MW(e)) y su despliegue podría ser ideal en zonas remotas y en regiones con redes eléctricas más pequeñas. Estos reactores presentarán diseños modulares, lo que permite que los sistemas y componentes se ensamblen en fábrica y se transporten como una sola unidad a un lugar para su instalación. Gracias a esto se podría reducir el tiempo de construcción. Además, nuevos usuarios finales, como los centros de datos, están estudiando la posibilidad de utilizar la energía nucleoelectrónica para satisfacer sus crecientes necesidades de electricidad y muchas aplicaciones industriales requieren la descarbonización, por lo que no faltan aplicaciones potenciales. Los SMR podrían desplegarse más rápidamente y desempeñar un papel más importante según la rapidez con la que obtengan la licencia y alcancen la madurez comercial.

“A medida que el panorama de la energía nucleoelectrónica cambia, también debe cambiar la asistencia que prestamos. Esta última actualización de las orientaciones del enfoque de los

hitos del OIEA llega en un momento crucial en el que cada vez más países se plantean incorporar la energía nucleoelectrónica en su canasta energética para cumplir sus compromisos de emisiones netas cero —indica Aline des Cloizeaux, Directora de la División de Energía Nucleoelectrónica del OIEA—. Está claro que los SMR serán un componente fundamental de la transición a la energía limpia, y debemos asegurarnos de que los países interesados en esta tecnología comprendan cabalmente lo que se necesita para ejecutar con éxito los proyectos relacionados con los SMR”.

En muchos aspectos, los SMR son muy similares a sus análogos de mayor tamaño. Comprenden muchos de los mismos sistemas y funcionan según los mismos principios que han impulsado los reactores nucleares durante décadas. Las necesidades de los SMR son, en su mayoría, las mismas que las de los reactores tradicionales, por ejemplo, marcos jurídicos y reguladores robustos, una participación dinámica de las partes interesadas y aspectos relacionados con la protección ambiental que han de considerarse. No obstante, debido a sus características únicas, como una menor potencia de salida y diseños simplificados, algunos requisitos específicos de infraestructura pueden variar.

Algunos SMR, en particular los que utilizan refrigerantes distintos del agua, pueden generar nuevas formas de desechos radiactivos, por lo que los países que tienen previsto desplegar SMR deben planificar la gestión de estas nuevas clases de desechos. Si se utilizan nuevos tipos de combustible, será importante establecer una cadena de suministro para garantizar la disponibilidad constante del combustible. Es posible

que haya que elaborar nuevos enfoques de salvaguardias para abordar algunas de las características novedosas del diseño de los SMR a fin de garantizar que no se ponga trabas a la aplicación de medidas rigurosas de contabilidad y control de material nuclear.

En la actualidad hay unos 30 países en fase de incorporación al ámbito nuclear que están considerando la posibilidad de utilizar la energía nucleoelectrónica o están avanzando en los planes de

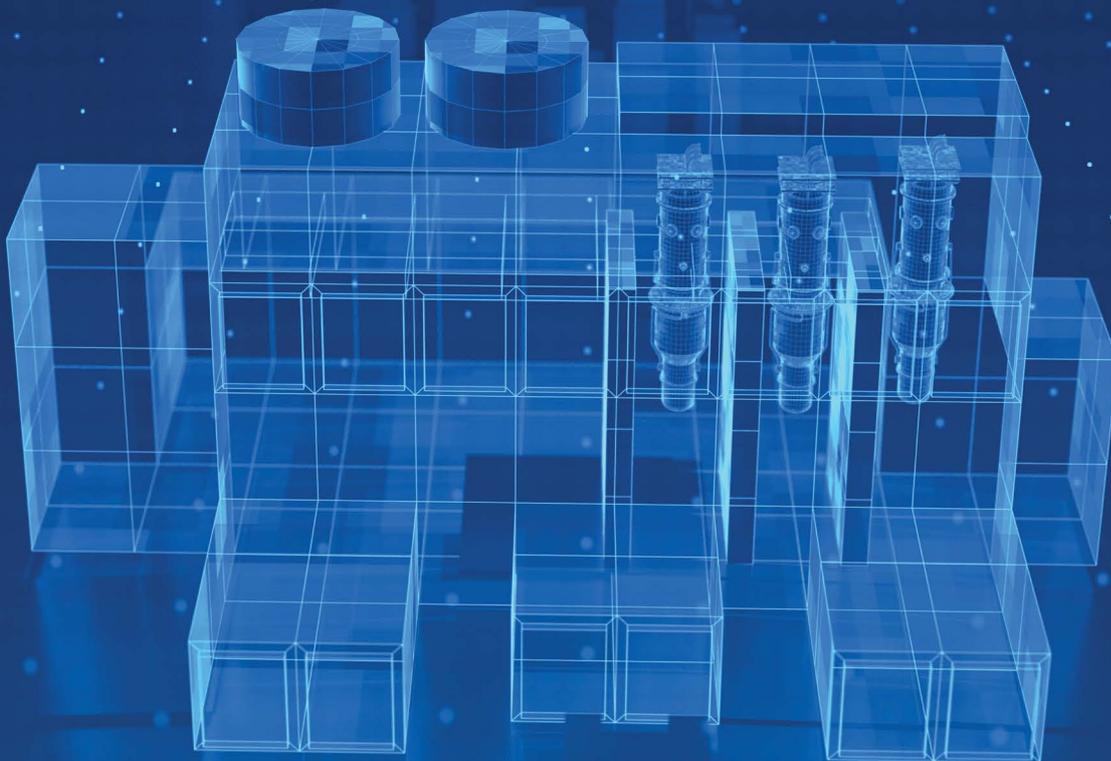
construcción de su primera central nuclear. Bangladesh, Egipto y Türkiye están construyendo sus primeras centrales nucleares y se prevé que varios países más construirán sus primeras centrales en el plazo de unos diez años.

La Argentina, China y la Federación de Rusia están construyendo SMR y los dos últimos han desplegado sus primeros SMR en 2019 y 2021, respectivamente. Varios países en

fase de incorporación, como Estonia, Jordania y Polonia, han determinado que los SMR formarán parte de sus futuros sistemas de energía limpia. El pasado mes de octubre se llevó a cabo en Estonia una misión INIR centrada en los SMR y, tras reunirse con expertos del OIEA el pasado agosto, Jordania está estudiando la manera de utilizar los SMR para atender sus necesidades de desalación de agua de mar.

— *Matt Fisher*

El despliegue de los SMR podría ser ideal en zonas remotas y en regiones con redes eléctricas más pequeñas



¿Sabía que

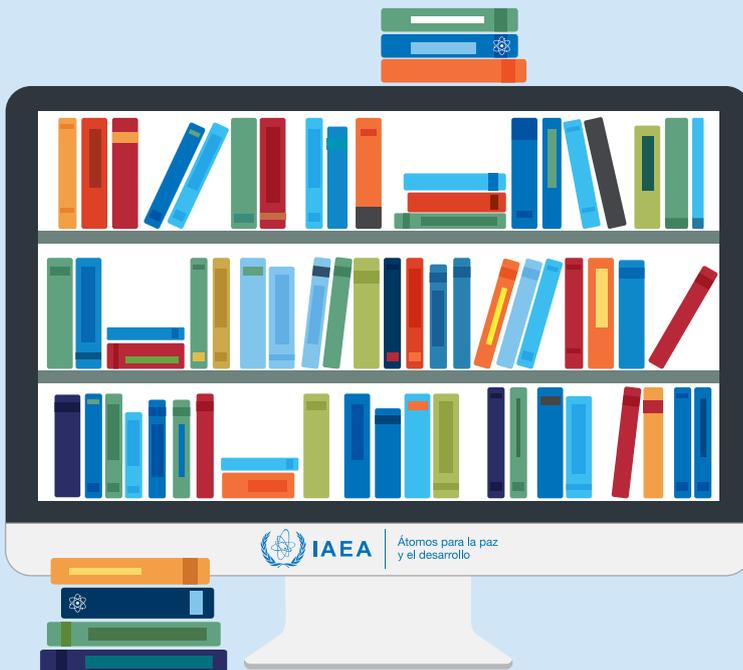
la energía nuclear proporciona en la actualidad una cuarta parte de la electricidad mundial con bajas emisiones de carbono?

Escanee el código

y descubra cómo la energía nuclear puede desempeñar un papel fundamental para lograr las emisiones netas cero.



Nuclear Energy in Mitigation Pathways to Net Zero



Descubra todas las publicaciones del OIEA

consulta gratuita en línea



www.iaea.org/es/publicaciones

Si desea encargar una publicación, escriba a:

sales.publications@iaea.org

Publicaciones del OIEA

Conferencia Ministerial sobre

Ciencia, Tecnología y Aplicaciones Nucleares y el Programa de Cooperación Técnica

26 a 28 de noviembre de 2024
Viena (Austria)



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica



CN-328

Únanse a nosotros

para un futuro mejor

Desde el OIEA invitamos a los Estados Miembros, la industria, las instituciones financieras y otras partes interesadas a que se unan a nuestras iniciativas emblemáticas y aporten sus conocimientos especializados, sus herramientas de modelización, sus conocimientos industriales, y sus recursos financieros y de promoción.

SALUD HUMANA



MEDIO AMBIENTE



MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR



ALIMENTACIÓN Y AGRICULTURA



ENERGÍA



Obtenga más información sobre las **iniciativas emblemáticas del OIEA**



IAEA

Átomos para la paz
y el desarrollo