



IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Junio de 2019

En línea en
www.iaea.org/bulletin



La gestión del combustible gastado de reactores nucleares de potencia

Lecciones del pasado, opciones para el futuro

La gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos: un desafío para los países en fase de incorporación al ámbito nuclear, pág. 10

La primera instalación para la disposición final segura del combustible gastado, pág. 14

La integración de las salvaguardias en el diseño de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado, pág. 20

También contiene:
Noticias del OIEA



EL BOLETÍN DEL OIEA

es una publicación de la
Oficina de Información al Público
Organismo Internacional de Energía Atómica
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Viena, Austria
Teléfono: (43 1) 2600-0
iaebulletin@iaea.org

Editor: Miklos Gaspar
Diseño y producción: Ritu Kenn

El BOLETÍN DEL OIEA puede consultarse en línea en
www.iaea.org/bulletin

Podrá reproducirse libremente parte del material del OIEA contenido en el *Boletín del OIEA* siempre que se cite su fuente. En caso de que el material que quiera volverse a publicar no sea de la autoría de un miembro del personal del OIEA, deberá solicitarse permiso al autor o a la organización que lo haya redactado, salvo cuando se trate de una reseña.

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

Fotografía de la portada:
Vista del interior de Olkiluoto 1
(Fotografía: Hannu Huovila / TVO)

Síguenos en:



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

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

El OIEA, que, además, proporciona una plataforma mundial para la mejora de la seguridad física nuclear, ha creado la *Colección de Seguridad Física Nuclear*, cuyas publicaciones ofrecen orientaciones a ese respecto que gozan del consenso internacional. La labor del OIEA se centra igualmente en ayudar a reducir al mínimo el riesgo de que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas y criminales o de que las instalaciones nucleares sean objeto de actos dolosos.

Las normas de seguridad del OIEA proporcionan un sistema de principios fundamentales de seguridad y reflejan un consenso internacional sobre lo que constituye un alto grado de seguridad para proteger a la población y el medio ambiente contra los efectos nocivos de la radiación ionizante. Esas normas han sido elaboradas pensando en que sean aplicables a cualquier tipo de instalación o actividad nuclear destinada a fines pacíficos, así como a las medidas protectoras encaminadas a reducir los riesgos radiológicos existentes.

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

La labor del OIEA es polifacética y se lleva adelante, con participación de muy diversos asociados, a escala nacional, regional e internacional. Los programas y presupuestos del OIEA se establecen mediante decisiones de sus órganos rectores: la Junta de Gobernadores, compuesta por 35 miembros, y la Conferencia General, que reúne a todos los Estados Miembros.

El OIEA tiene su Sede en el Centro Internacional de Viena y cuenta con oficinas sobre el terreno y de enlace en Ginebra, Nueva York, Tokio y Toronto. Además, tiene laboratorios científicos en Mónaco, Seibersdorf y Viena, y proporciona apoyo y financiación al Centro Internacional de Física Teórica "Abdus Salam", en Trieste (Italia).

La importancia de la gestión segura y sostenible del combustible gastado

Yukiya Amano, Director General del OIEA

La energía nucleoelectrónica puede ayudar a afrontar dos desafíos que van de la mano: garantizar suministros fiables de energía y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero. Los 451 reactores nucleares de potencia actualmente en funcionamiento en 30 países suministran más del 10 % de la electricidad mundial total y un tercio de toda la electricidad con bajas emisiones de carbono. La energía nucleoelectrónica seguirá desempeñando un papel clave en la canasta de energía con bajas emisiones de carbono del mundo durante los próximos decenios.

La gestión segura y sostenible del combustible gastado de reactores nucleares de potencia es esencial para el futuro de la energía nuclear.

Este desafío incumbe tanto a los responsables de la formulación de políticas como a los ingenieros. De hecho, existen soluciones técnicas para gestionar el combustible gastado, que van desde el reprocesamiento y el reciclaje hasta el acondicionamiento de ese combustible para su disposición final en repositorios subterráneos profundos. Asimismo, la investigación ha demostrado la viabilidad de procesos avanzados como la separación y la transmutación, que tienen potencial para reducir aún más el impacto de los desechos nucleares. La aplicación de cualquier estrategia concreta puede tardar decenios y la asignación de los recursos necesarios para ello suele ser difícil.

La gestión del combustible gastado implica un compromiso a largo plazo y las estrategias nacionales han de ser lo suficientemente flexibles para posibilitar la integración de nuevas tecnologías que aumenten y mejoren la eficiencia, la seguridad y la sostenibilidad de la energía nucleoelectrónica.

En esta edición del *Boletín del OIEA* examinaremos las soluciones que se aplican en distintas partes del mundo. Explicaremos la estrategia integrada de Rusia para llevar a cabo en un solo lugar el almacenamiento en húmedo y en seco, el reprocesamiento, la fabricación de combustible y, llegado el momento, la disposición final de desechos de actividad alta (pág. 6). Expertos franceses nos mostrarán cómo consiguen que su gestión del combustible gastado sea eficiente (pág. 8), mientras que nuestro artículo sobre la gestión de ese

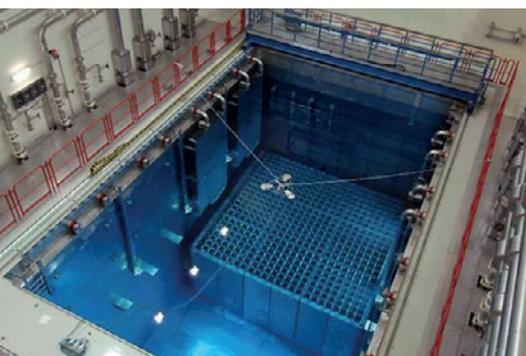
combustible en el Reino Unido se centrará en su transporte en condiciones de seguridad (pág. 12).

Describiremos la investigación conjunta de Suecia y Finlandia sobre el desarrollo de repositorios subterráneos (pág. 14). Analizaremos cómo las consideraciones

relativas a las salvaguardias pueden influir en el diseño de las instalaciones de gestión del combustible gastado (pág. 20), lo que facilita la labor de la entidad explotadora y de los inspectores de salvaguardias del OIEA. Pondremos la vista en el futuro examinando el enfoque que los países en fase de incorporación a la energía nucleoelectrónica podrían adoptar respecto de la gestión del combustible gastado (pág. 10) y exploraremos de qué manera la introducción prevista de reactores modulares pequeños en algunos países podría afectar a la gestión del combustible gastado (pág. 11).

Este año, la Conferencia Internacional sobre Gestión del Combustible Gastado de Reactores Nucleares de Potencia: Lecciones del Pasado, Opciones para el Futuro, constituye un seguimiento de nuestra conferencia anterior sobre este tema, celebrada en 2015. Entonces, los delegados recalcaron la necesidad de adoptar un enfoque más integrado del ciclo del combustible, con más coordinación entre los principales actores y los responsables de la toma de decisiones. Los participantes en esta edición se centrarán, entre otras cosas, en la manera en que las decisiones adoptadas en la parte inicial del ciclo del combustible nuclear pueden afectar a la gestión del combustible gastado, y en intercambiar prácticas óptimas y enseñanzas extraídas en este ámbito.

El OIEA seguirá prestando asistencia a los Estados Miembros en la importante esfera de la gestión del combustible gastado, aportando conocimientos especializados y proporcionando una plataforma de intercambio internacional. Espero que la conferencia sea muy fructífera para los delegados.



(Fotografía: Central nuclear de Gösgen-Däniken)



(Fotografía: Energy Solutions)



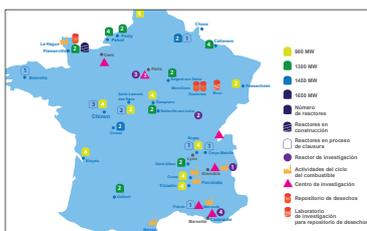
(Fotografía: Rosatom)

1 La importancia de la gestión segura y sostenible del combustible gastado

4 El ciclo de vida del combustible nuclear



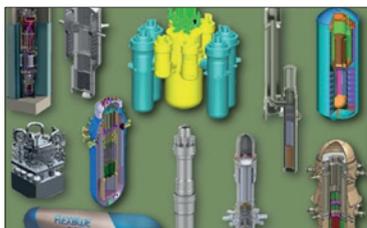
6 Bajo un mismo techo: la estrategia integrada de Rusia para la gestión del combustible gastado



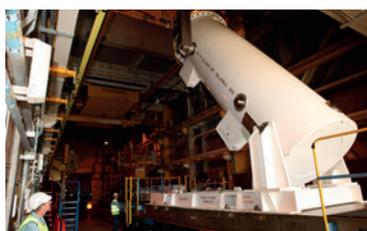
8 Lecciones de la gestión eficiente del ciclo del combustible nuclear por parte de Francia



10 La gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos: un desafío para los países en fase de incorporación al ámbito nuclear



11 ¿Son los reactores modulares pequeños un desafío para la gestión del combustible gastado?



12 Fomento de la seguridad tecnológica y física del transporte del combustible gastado en el Reino Unido



14 La primera instalación para la disposición final segura del combustible gastado



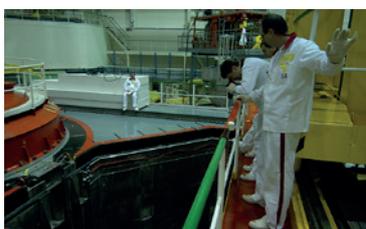
16 La estrategia de China de gestión del combustible gastado para hacer frente al crecimiento



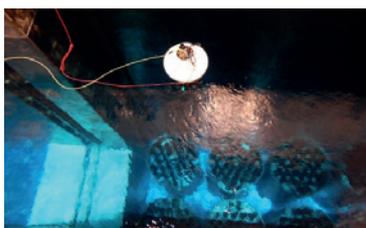
17 Nuevo curso de aprendizaje electrónico sobre gestión del combustible gastado de reactores nucleares de potencia



18 Gestión del combustible gastado: cuatro decenios de investigación



20 La integración de las salvaguardias en el diseño de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado



22 El diseño ganador del Concurso de Tecnología Robótica ayuda a acelerar la verificación del combustible gastado

24 Cómo simplificar el transporte y el almacenamiento del combustible gastado de los reactores nucleares de potencia

Panorama mundial

26 Lecciones de mi pasado

Susan Y. Pickering

Noticias del OIEA

28 Del laboratorio al campo: científicos indonesios desarrollan cultivos nuevos para los agricultores gracias a la ciencia nuclear

29 Profesionales del ámbito nuclear participantes en el curso del OIEA sobre liderazgo en pro de la seguridad comparten cómo promover una sólida cultura de la seguridad

30 Viet Nam mejora la calidad de los alimentos mediante la irradiación

31 El OIEA desarrolla un nuevo método para el seguimiento de las fuentes de contaminación del agua

32 Publicaciones

El ciclo de vida del

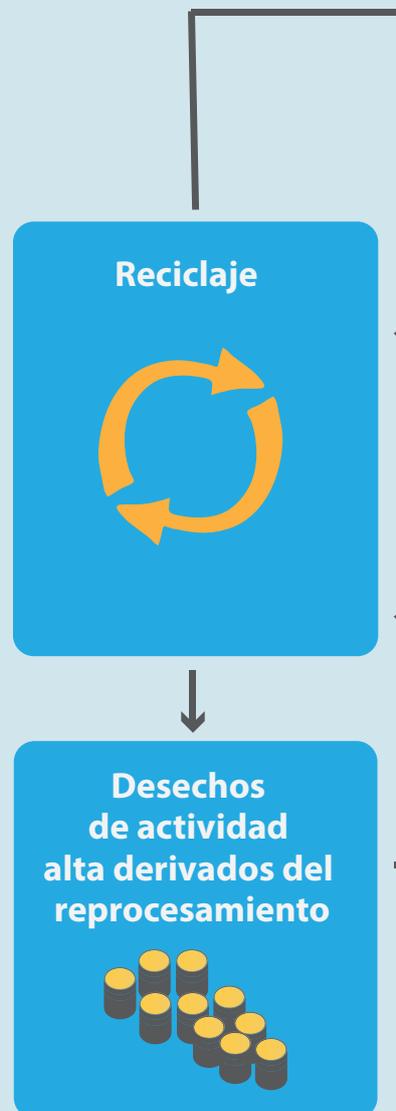
El combustible que se emplea hoy en día en la mayoría de los reactores nucleares de potencia se basa en el óxido de uranio cerámico. El diseño del combustible y su contenido fisible varían en función del tipo de reactor. Los reactores de agua ligera, como los de agua a presión o los de agua en ebullición, y los modernos reactores refrigerados por gas, utilizan como combustible uranio enriquecido para aumentar hasta un 5 % su contenido de uranio 235 fisible, mientras que los reactores CANDU y los reactores de agua pesada a presión utilizan principalmente uranio ligeramente enriquecido o uranio natural, con un contenido de uranio 235 del 0,7 % aproximadamente.

Normalmente, el núcleo de un reactor de agua a presión de 1 000 megavatios eléctricos contiene entre 120 y 200 conjuntos de combustible. Cada conjunto contiene unos 500 kg de óxido de uranio y puede generar en torno a 200 millones de kilovatios-hora de electricidad durante su ciclo de vida en el núcleo. Un reactor de esta potencia descarga unos 40 conjuntos de combustible gastado al año que, en total, contienen aproximadamente 20 toneladas de óxido de uranio.

Se considera que el combustible nuclear está gastado cuando ya no puede mantener la reacción de fisión. En un reactor de agua a presión, esto tarda en suceder entre tres y siete años, dependiendo del combustible y de la ubicación de este en el núcleo del reactor. La apariencia del combustible gastado al retirarlo del núcleo es similar a la de un conjunto de combustible no irradiado. Sin embargo, es muy radiactivo y está muy caliente, por lo que es necesario refrigerarlo y blindarlo. El combustible gastado se traslada a una piscina de almacenamiento, ya que el agua es un material eficaz de refrigeración y blindaje. Tras un período de refrigeración, si es necesario se puede trasladar el combustible a una instalación de almacenamiento en seco.

Actualmente, tras un período adecuado de almacenamiento, se pueden hacer dos cosas con el combustible gastado, a saber:

- considerarlo como desecho que habrá de ser sometido a acondicionamiento para su disposición final en un repositorio geológico profundo, lo que se conoce como ciclo abierto del combustible nuclear; o
- reprocesarlo para recuperar el material fisible restante que se pueda reciclar como combustible nuevo con el fin de utilizarlo en reactores nucleares, lo que genera desechos de actividad alta que habrán de ser sometidos a disposición final en un repositorio geológico profundo: este proceso se conoce como ciclo cerrado del combustible nuclear.



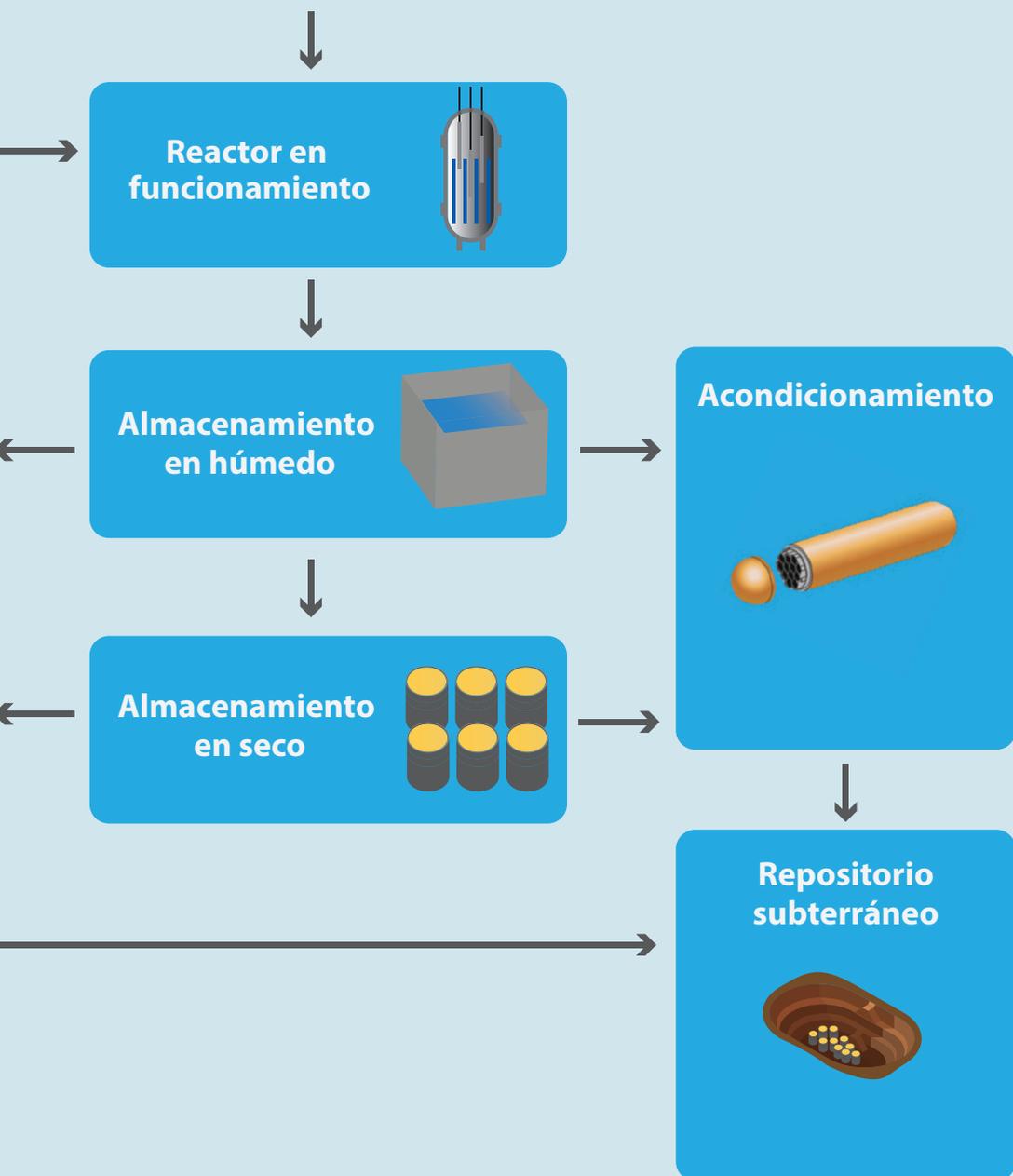
combustible nuclear

Etapas de la parte inicial

Prospección y extracción del uranio

Enriquecimiento del uranio

Fabricación del combustible



Bajo un mismo techo: la estrategia integrada de Rusia para la gestión del combustible gastado

Nicole Jawerth

Una ventanilla única para gestionar el combustible gastado. Así se podría describir el Complejo Minero y Químico (MCC) de Rusia, situado en las proximidades de Krasnoyarsk, en Siberia, y concebido para manipular en un único emplazamiento el combustible gastado en sus distintas etapas. En muchos países, estas actividades, relacionadas con combustible que ya no es útil pero que sigue siendo muy radiactivo, se llevan a cabo en instalaciones independientes que, en algunos casos, se encuentran a cientos de kilómetros de distancia entre sí. La estrategia nacional de Rusia para la gestión del combustible gastado, basada en un enfoque integrado, tiene por objetivo mejorar la eficiencia, reducir los gastos y optimizar la seguridad tecnológica y física.

“La industria rusa de la energía nucleoelectrica sigue evolucionando y aumentando su aportación a la canasta energética global del país, por lo que necesitamos asegurarnos de que la gestión del combustible gastado sea fiable, sostenible y segura”, señala Anzhelika Khaperskaya, directiva superior de la oficina encargada del proyecto sobre gestión del combustible nuclear gastado, adscrita a la Corporación Estatal de Energía Atómica (Rosatom) de Rusia, y una de las artífices del enfoque integrado. “El complejo integrado nos ayudará a reducir la necesidad de transportar materiales o desechos nucleares y nos permitirá concentrar las medidas de seguridad tecnológica y física en un solo lugar, lo que también es mejor desde un punto de vista económico”.

Situado en Siberia central, a unos 4000 kilómetros al este de Moscú, la reconversión del MCC en el marco de este enfoque integrado se inició en 2017. El personal y las instalaciones con que contaba ya el emplazamiento brindaron la infraestructura necesaria para poner en marcha la integración.

Hasta entonces, Rusia principalmente almacenaba su combustible gastado y procesaba parte de este en la planta RT-1 de Mayak Production Association, cerca de Ekaterimburgo, a unos 1600 kilómetros al este de Moscú, en Siberia occidental.

A diferencia de esa planta, dedicada sobre todo a actividades de reprocesamiento y que cuenta con una pequeña instalación piloto de fabricación, el MCC ya permite el almacenamiento en húmedo y en seco de combustible gastado, dispone de instalaciones de reprocesamiento y de fabricación de combustible nuevo para reactores de agua ligera y reactores rápidos y tendrá, en el futuro, un laboratorio de investigación subterráneo para la disposición final de desechos de actividad alta. Está previsto que la integración completa del complejo y su entrada en funcionamiento sean una realidad para 2035.

Simplificación del proceso

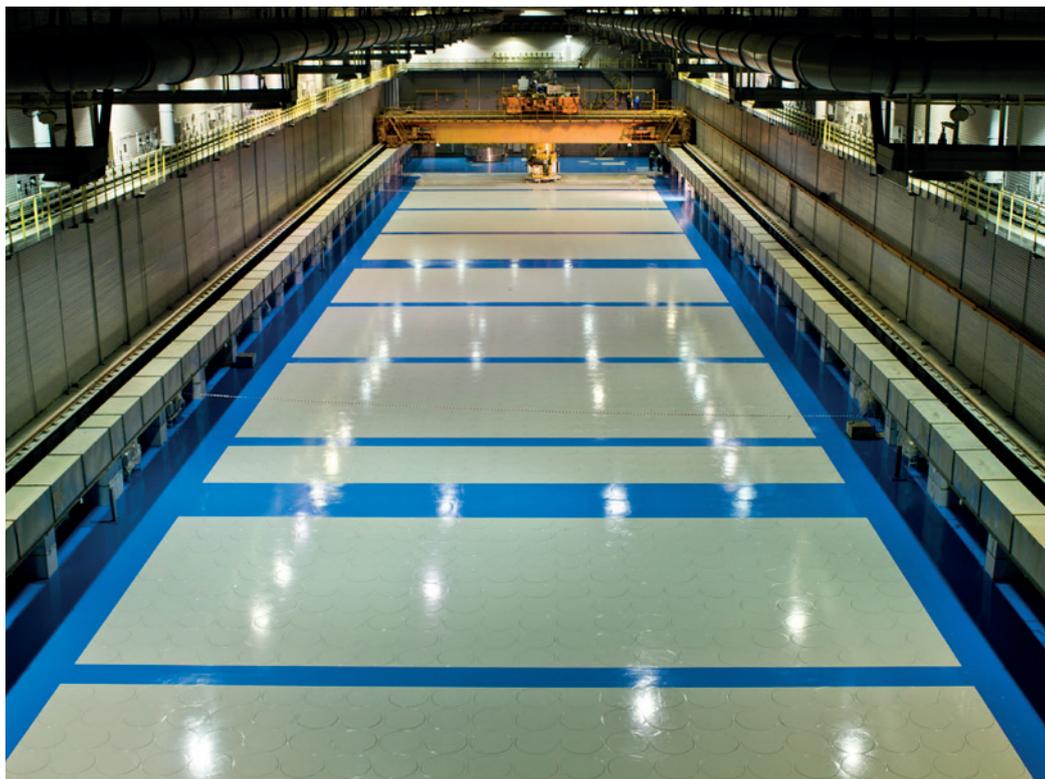
En todas las etapas del proceso de gestión deben adoptarse medidas de seguridad tecnológica y física para proteger a las personas y el medio ambiente y reducir al mínimo el riesgo de ataques, robos o uso indebido de los materiales nucleares.

Por ejemplo, el combustible gastado suele realizar varios viajes, en primer lugar desde donde se utilizó, como una central nuclear, y posteriormente entre instalaciones situadas en diferentes emplazamientos para su almacenamiento, reprocesamiento, fabricación o disposición final. El traslado de materiales nucleares exige adoptar medidas de seguridad tecnológica y física adicionales.

“En las distintas fases de la estrategia integrada hemos dispuesto lo necesario para eliminar los riesgos en materia de seguridad tecnológica y física a fin de proteger a las personas y el medio ambiente. Por ejemplo, hemos concentrado varios procesos de gestión, concretamente el almacenamiento en húmedo y en seco, el reprocesamiento y la fabricación de combustible nuevo, en un emplazamiento del MCC para reducir al mínimo el transporte de los materiales nucleares”, explica Petr Gavrilov, Director General del MCC, adscrito al Rosatom.

Un paso esencial al establecer el nuevo enfoque fue encontrar fórmulas eficaces para reducir el número de procesos. Expertos del MCC, de instituciones líderes de la industria y de la Academia de Ciencias de Rusia trabajaron conjuntamente para seleccionar, probar y, en algunos casos, desarrollar nuevas tecnologías, equipos y métodos que cumplieran las normas de seguridad y las orientaciones sobre seguridad física del OIEA y pudieran solucionar desafíos científicos y técnicos complejos.

Por ejemplo, el MCC se va a encargar de reprocesar un nuevo tipo de combustible de uranio-plutonio llamado REMIX. Este combustible ha sido desarrollado como parte del enfoque integrado para reducir al mínimo los tiempos de almacenamiento del combustible gastado y disminuir la cantidad de desechos radiactivos que deben someterse a disposición final. A diferencia de otros tipos de combustible nuclear para reactores de agua ligera, el REMIX se puede reciclar hasta siete veces en las centrales nucleares actuales, lo que quiere decir que puede suministrar combustible nuclear en cantidad suficiente para cubrir toda la vida útil de un reactor de agua ligera de una central.



Interior de un puesto de control del MCC. El personal supervisa cómo los conjuntos de combustible nuclear gastado se trasladan automáticamente desde la instalación de almacenamiento de húmedo hasta la instalación de almacenamiento en seco.

(Fotografía: MCC-press)

“Hemos estado desarrollando tecnologías de reprocesamiento, reciclaje y separación nuevas e innovadoras, así como infraestructura relacionada con el ciclo del combustible nuclear. Esencialmente, estamos intentando mitigar las repercusiones de la gestión del combustible gastado y favorecer el desarrollo sostenible en el futuro, reciclando varias veces el uranio y el plutonio para su uso en reactores termonucleares y reactores rápidos, y reduciendo la radiotoxicidad de los desechos radiactivos”, afirma la Sra. Khaperskaya.

Estrategias nacionales

En 2018 la energía nucleoelectrica representaba el 18,4 % de la producción energética de Rusia. Las centrales nucleares, los reactores de investigación y los submarinos del país producen aproximadamente 700 toneladas de combustible nuclear gastado al año. Rusia tiene previsto ampliar su industria nuclear, en particular con la implantación a gran escala de reactores rápidos, y se espera que el sistema integrado del MCC ayude a reducir al mínimo las repercusiones de dicha ampliación.

“La manipulación segura del combustible nuclear gastado es una orientación estratégica del desarrollo de la energía nucleoelectrica de Rusia. Es necesario proporcionar un almacenamiento seguro y eficaz en función del costo tanto para el combustible nuclear gastado duradero como para el recientemente producido, a fin de responder a las necesidades en materia de energía nucleoelectrica”, indica el Sr. Gavrilov, quien añade que “el complejo integrado mejorará la eficiencia y la competitividad de la industria nuclear rusa y hará que la energía nuclear sea todavía más segura y más respetuosa con el medio ambiente”.

El enfoque integrado de Rusia no es sino un ejemplo de la manera en que un país puede gestionar su combustible nuclear gastado. Todos los países que tienen programas de energía nucleoelectrica cuentan con políticas y estrategias nacionales relativas a la gestión del combustible gastado.

Las estrategias nacionales se adaptan a las dimensiones y las necesidades del programa nuclear del país, y velan por que encaje en el plan energético nacional general. Si bien cada estrategia es diferente, la mayoría abordan los aspectos técnicos, políticos, socioeconómicos y relacionados con la seguridad tecnológica y física de las distintas etapas de la gestión del combustible gastado, con lo que se garantiza la observancia de las normas de seguridad y las orientaciones sobre seguridad física del OIEA.

Aunque la responsabilidad de la gestión segura del combustible nuclear gastado recae en los países, el OIEA proporciona orientaciones técnicas y les presta apoyo en la tarea de intercambiar información para que elaboren estrategias bien fundamentadas. Asimismo, ofrece conocimientos especializados y apoyo a la capacitación para aplicar estas estrategias. Dado que el combustible nuclear gastado es una forma de material nuclear, las salvaguardias del OIEA también desempeñan una función primordial para garantizar que dicho combustible no se utilice de manera indebida ni se desvíe de los usos pacíficos.

Lecciones de la gestión eficiente del ciclo del combustible nuclear por parte de Francia

Shant Krikorian

Con 58 reactores nucleares de potencia que en 2018 produjeron aproximadamente el 72 % de la electricidad del país, Francia figura entre las naciones con un mayor porcentaje de energía nucleoelectrónica respecto de su producción energética total. No obstante, las centrales nucleares francesas, además de producir energía, también generan una cantidad considerable de combustible gastado y de desechos radiactivos.

En opinión de expertos franceses, la fortaleza de su política nacional en materia de combustible gastado puede atribuirse no solo a una legislación estricta y a un órgano regulador sólido, sino también a la normalización del parque de centrales nucleares y a la política de reciclaje del combustible gastado, lo que permite que haya un suministro eficiente y seguro y que la carga que suponen los desechos radiactivos sea menor.

En Francia, la totalidad de las unidades en funcionamiento son reactores de agua a presión de tres tipos estándar únicamente, diseñados todos ellos por Framatome, a saber: el de 900 MWe y tres circuitos cerrados (34 reactores), el de 1300 MWe y cuatro circuitos cerrados (20 reactores) y el de 1450 MWe y cuatro circuitos cerrados (4 reactores). Por lo tanto, el grado de normalización de los reactores nucleares de potencia franceses es el más alto entre los países que cuentan con un gran número de centrales nucleares. Esto se traduce asimismo en que existe un enfoque normalizado respecto de la parte final del ciclo del combustible nuclear, que abarca la gestión del combustible gastado y de los desechos, la clausura y la rehabilitación ambiental.

Para gestionar las cerca de 1150 toneladas de combustible gastado que produce cada año, Francia, al igual que otros muchos países, decidió desde un primer momento cerrar su ciclo del combustible nuclear reciclando o reprocesando el combustible gastado. De esta forma, la industria nuclear francesa puede recuperar uranio y plutonio del combustible gastado para reutilizarlo, reduciendo así el volumen de desechos de actividad alta.

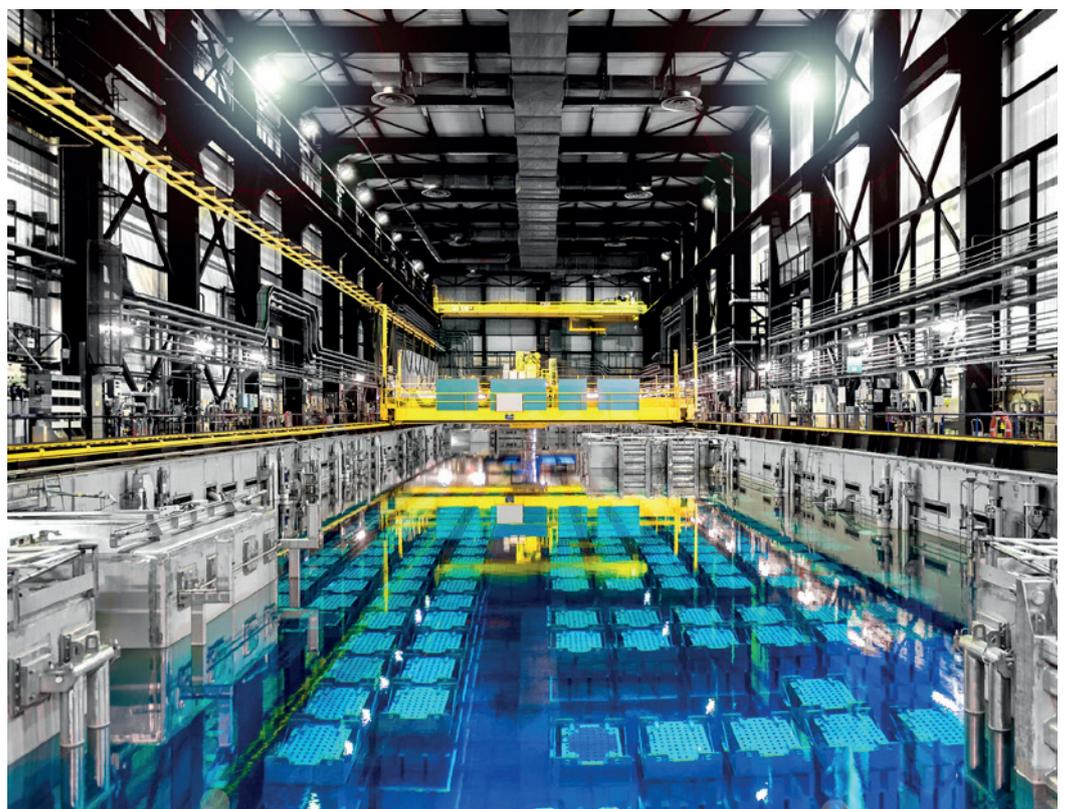
El proceso de reciclaje del combustible nuclear consiste en convertir el plutonio gastado, que se forma en los reactores nucleares de potencia como un subproducto de la quema de combustible de uranio, y el uranio en un “óxido mixto” (MOX) que se puede reutilizar en las centrales nucleares para producir más electricidad.

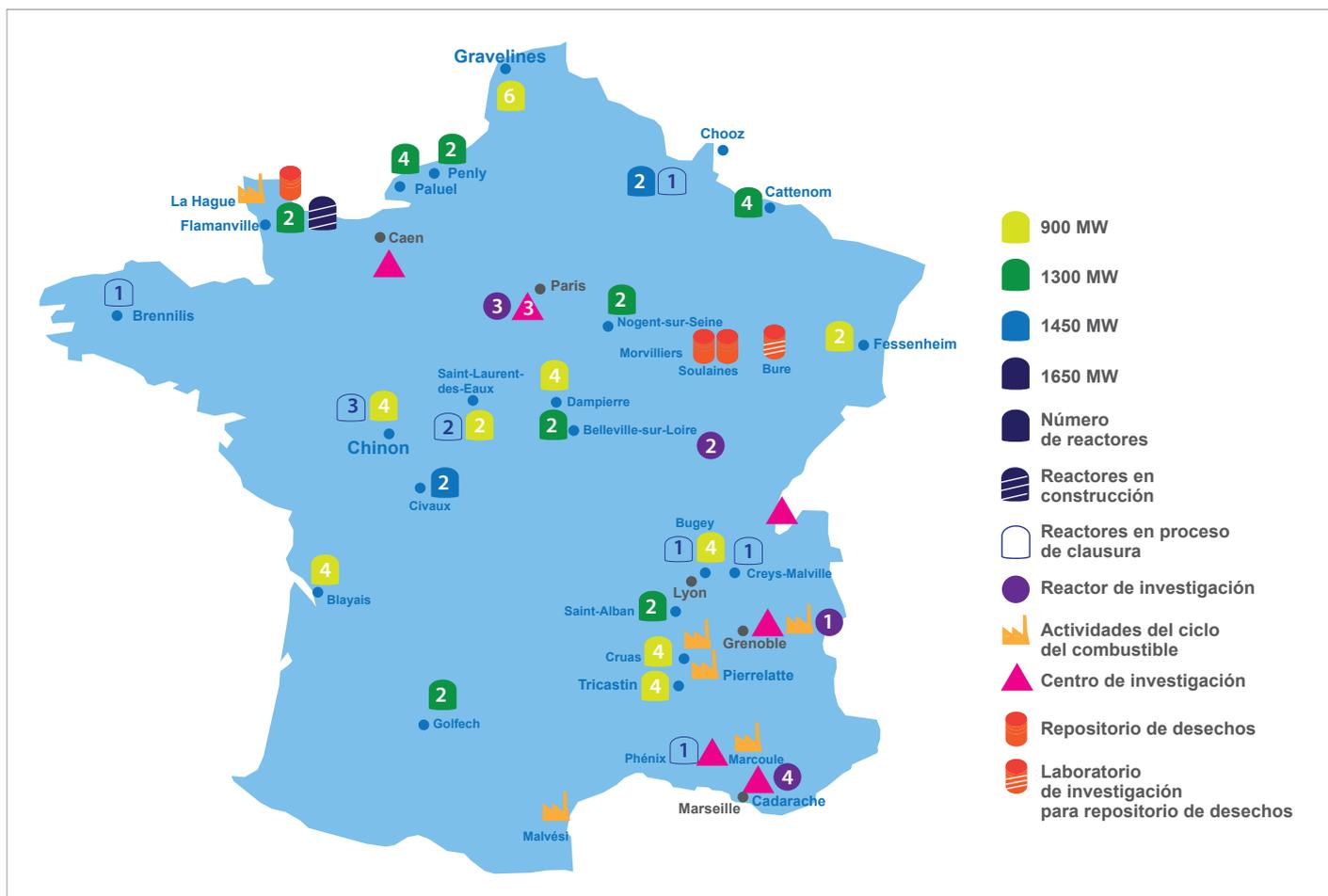
Denis Lépée, Vicepresidente Superior y Jefe de la División de Combustible Nuclear de EDF, la compañía eléctrica francesa que explota las centrales nucleares del país, señala que “el reciclaje del combustible gastado es un elemento importante de la estrategia del sector nuclear francés, que cuenta con más de 30 años de experiencia industrial”.

“Esto nos permite limitar la cantidad de materiales y reducir al mínimo los desechos y, al mismo tiempo, acondicionarlos de manera segura. Esta estrategia, que es un pilar importante de la producción global de electricidad nuclear de Francia, contribuye de forma notable a la independencia energética del país”.

Planta de reprocesamiento de Orano, en La Hogue.
Desde que entró en funcionamiento en 1976, en este emplazamiento se han tratado más de 34 000 toneladas métricas de combustible gastado.

(Fotografía: Orano)





Mapa de las instalaciones nucleares francesas

(Fuente: EDF, CEA)

Mediante el reciclaje se pueden recuperar hasta el 96 % de los materiales reutilizables del combustible gastado. En su sexto informe nacional presentado en el marco de la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos, Francia afirma que, gracias a la política nacional de reciclaje del combustible gastado, necesita un 17 % menos de uranio natural para hacer funcionar sus centrales del que necesitaría si no recurriera al reciclaje.

Orano, la empresa francesa encargada de las actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear que suministra el combustible a las centrales nucleares del país y gestiona los desechos que estas generan, ha señalado que su estrategia consiste en reprocesar el combustible gastado, optimizando al mismo tiempo el rendimiento energético del combustible nuclear. El proceso se lleva a cabo en la planta de reprocesamiento de La Hague y en la planta de fabricación de combustible MOX de Marcoule.

Desde que comenzó a funcionar a mediados de los años sesenta, la planta de La Hague ha procesado de forma segura más de 23 000 toneladas de combustible gastado, cantidad suficiente para abastecer las instalaciones nucleares de Francia durante 14 años.

Los conjuntos combustibles gastados de varias centrales nucleares se transportan a La Hague, donde se conservan en una piscina de almacenamiento. Seguidamente, se separan los componentes del combustible gastado y se recuperan los materiales reciclables. En la instalación de Melox, el plutonio se vuelve a mezclar con uranio empobrecido para producir combustible MOX.

Esta estrategia de reprocesamiento y reciclaje exige una coordinación estrecha y periódica entre los distintos agentes industriales, afirma John Czerwin, Vicepresidente Superior de Mercadotecnia y Asistencia Comercial de Orano. Esos agentes incluyen a los encargados de gestionar los reactores, el combustible y las infraestructuras de disposición final, con lo que se garantiza la coherencia del sistema industrial integrado.

El Sr. Czerwin añade que “esto confirma los beneficios de esta estrategia: en primer lugar, mantenemos un volumen de desechos nucleares limitado; en segundo, ahorramos recursos de uranio aumentando la reutilización de los materiales; por último, nos preparamos para el futuro con el fin de fortalecer la independencia energética de Francia y garantizar la sostenibilidad de la energía nuclear”.

La Autoridad de Seguridad Nuclear (ASN) de Francia evalúa periódicamente el impacto en términos de seguridad de este enfoque.

La gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos: un desafío para los países en fase de incorporación al ámbito nuclear

Shant Krikorian

El aumento de la demanda de electricidad a gran escala y con bajas emisiones de carbono ha llevado a muchos países a pensar en la energía nucleoelectrica como vía para satisfacer sus crecientes necesidades energéticas. Actualmente, cuatro países que están apostando por este tipo de energía están construyendo nueve reactores nucleares. En esta tesitura, demostrar que se respetan los instrumentos jurídicos internacionales, las normas de seguridad, las directrices sobre seguridad física y sobre energía nuclear y los requisitos de salvaguardias constituye un aspecto importante de la preparación de un programa nuclear, incluida la gestión y la disposición final del combustible gastado y de los desechos radiactivos.

Según Mikhail Chudakov, Director General Adjunto y Jefe del Departamento de Energía Nuclear del OIEA, países en fase de incorporación como Bangladesh, Belarús, los Emiratos Árabes Unidos y Turquía deberían abordar la gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos desde el momento mismo en que inician un programa nucleoelectrico, y no deberían descuidar esta cuestión, ya que influye tanto en los aspectos económicos de la energía nucleoelectrica como en su aceptación por el público.

El OIEA presta apoyo a sus Estados Miembros para que establezcan políticas sobre combustible nuclear gastado. Esta ayuda se enmarca en el apoyo general que el Organismo brinda a los países en fase de incorporación al ámbito nuclear en forma de directrices, misiones de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear (INIR) y talleres regionales, nacionales e internacionales sobre temas relacionados con el desarrollo de la infraestructura.

El Director General del OIEA, Yukiya Amano, ha pedido en reiteradas ocasiones a estos países que se adhieran a la Convención Conjunta sobre Seguridad en la Gestión del Combustible Gastado y sobre Seguridad en la Gestión de Desechos Radiactivos y la ratifiquen. Para el Sr. Amano, los principios de la Convención deberían formar parte de la infraestructura nuclear nacional durante todo el desarrollo de un programa nuclear.

Las misiones INIR son instrumentos importantes para evaluar el estado de la infraestructura nuclear nacional y formular recomendaciones y orientaciones que posibiliten el desarrollo tecnológica y físicamente seguro y responsable de los programas nucleoelectricos.

Milko Kovachev, Jefe de la Sección de Desarrollo de Infraestructura Nuclear del OIEA, subraya que “desde la construcción de una central nuclear hasta la disposición final de todos los desechos que produce pueden pasar varios decenios. Por eso, es importante contar desde el principio con una estrategia y una planificación técnica creíbles, además de fórmulas para financiarlas, con el fin de que todas las acciones futuras se lleven a cabo garantizando en todo momento la seguridad tecnológica y física y que se dispone de las competencias y los recursos necesarios”.

El mensaje principal que se envía a los países en fase de incorporación en relación con los desechos es el siguiente: la gestión de los desechos radiactivos debe efectuarse de tal forma que no imponga cargas indebidas a las generaciones futuras.

En cuanto a la gestión del combustible gastado, el OIEA recomienda a estos países que:

- Se aseguren de que la infraestructura de gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos esté plenamente desarrollada al implementar los programas nucleoelectricos. La mejor manera de crear esta infraestructura es formulando una política nacional sobre el combustible gastado y los desechos radiactivos y las estrategias conexas.
- Tengan en cuenta que el desarrollo y la implementación de una política nacional requiere un enfoque sistemático y escalonado que abarque varios decenios.
- Establezcan la infraestructura de gestión de desechos en las primeras etapas de la planificación de los programas nucleoelectricos.

¿Son los reactores modulares pequeños un desafío para la gestión del combustible gastado?

Irena Chatzis

Si bien los reactores modulares pequeños (SMR) han estado en boca de científicos e investigadores de la industria nuclear desde hace muchos años, ¿hasta qué punto su puesta en funcionamiento, prevista para el próximo año, creará desafíos en la gestión del combustible gastado? Según los expertos, esto depende de cada diseño de SMR y de las prácticas de gestión del combustible gastado vigentes en cada país.

Los SMR son relativamente pequeños y flexibles: su capacidad nuclear puede alcanzar hasta 300 MW(e) y la potencia puede oscilar según la demanda. Esto los hace especialmente atractivos no solo para las regiones remotas que cuentan con redes eléctricas menos desarrolladas, sino también para utilizarlos como complemento de las energías renovables y para las aplicaciones no eléctricas de la energía nucleoelectrica. Los SMR pueden fabricarse y, posteriormente, transportarse e instalarse *in situ*, por lo que se prevé que su construcción sea más asequible.

En todo el mundo existen aproximadamente 50 diseños y conceptos de SMR en distintas etapas de desarrollo. Hay tres centrales con SMR que están en etapas avanzadas de construcción o de puesta en servicio en la Argentina, China y la Federación de Rusia, y está previsto que todas empiecen a funcionar entre 2019 y 2022.

Los países con programas de energía nucleoelectrica establecidos llevan decenios gestionando su combustible gastado, por lo que han adquirido amplia experiencia y cuentan con una infraestructura adecuada. Para estos países, la gestión del combustible gastado proveniente de los SMR no debería ser problemática si deciden desplegar SMR basados en las tecnologías actuales, declara Christophe Xerri, Director de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Tecnología de los Desechos del OIEA.

“Puesto que este tipo de reactor modular pequeño utilizará el mismo combustible que las grandes centrales nucleares convencionales, el combustible gastado que producirá puede gestionarse de la misma manera que el de los grandes reactores”, afirma el Sr. Xerri. Incluso en el caso de los SMR que están basados en nuevas tecnologías, como los reactores de alta temperatura refrigerados por gas, que utilizarán combustible contenido en bloques prismáticos de grafito o bolas de grafito, los países que tienen centrales nucleares

ya cuentan con soluciones establecidas para almacenar y gestionar el combustible gastado. “Los países pueden optar por utilizar la infraestructura existente, o bien ajustarla a los nuevos flujos de desechos radiactivos”, afirma el Sr. Xerri.

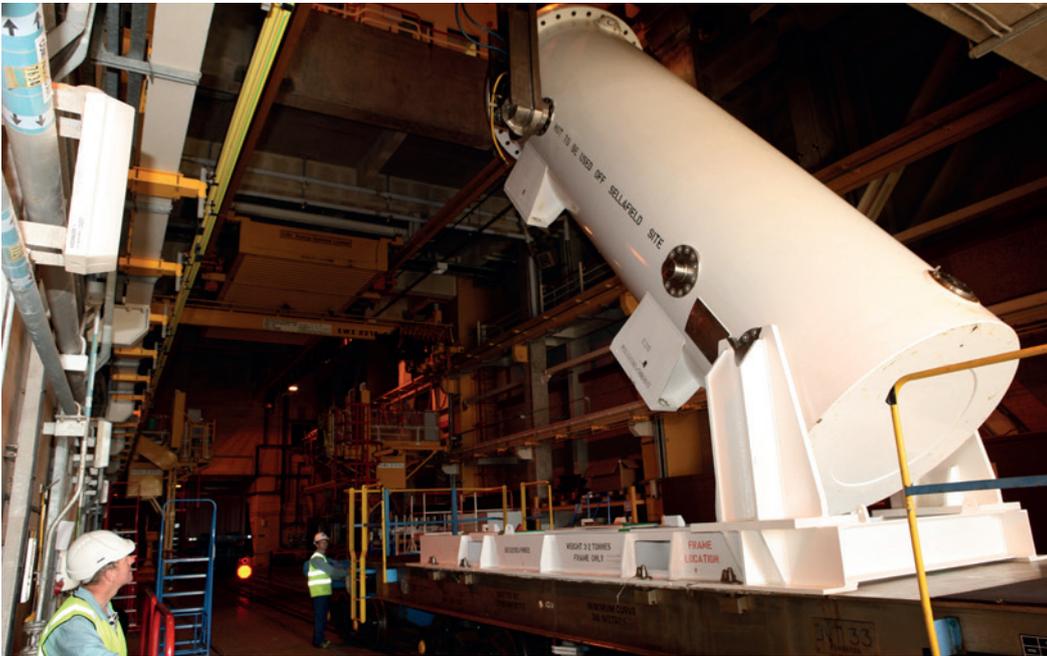
Los países que no han usado aún la energía nucleoelectrica deberían estudiar detenidamente la gestión del combustible gastado y establecer una infraestructura pertinente a medida que trabajan en la implantación de la energía nuclear, y tendrán que hacerlo tanto si optan por centrales nucleares convencionales como por SMR basados en las tecnologías actuales. “Los países enfrentarán más desafíos si optan por una tecnología novedosa o menos afianzada, ya que habrá menos experiencia y puntos de referencia para gestionar todo el ciclo del combustible. Las soluciones para gestionar el combustible gastado y los desechos radiactivos provenientes de los SMR serán uno de los factores más importantes a considerar para elegir una tecnología, junto con la seguridad del suministro de combustible”, apunta el Sr. Xerri.

Algunos diseños de SMR tienen características que podrían reducir las tareas asociadas con la gestión del combustible gastado. Las centrales nucleares basadas en estos diseños necesitan recargar combustible con menor frecuencia, cada 3 a 7 años, frente al intervalo de 1 a 2 años de las centrales convencionales, y algunas incluso se diseñan para funcionar hasta 30 años sin necesidad de recargar combustible. Sin embargo, incluso en estos casos habrá combustible gastado que deberá gestionarse adecuadamente.

A fin de abordar estas cuestiones y apoyar a los países en fase de incorporación a la energía nuclear, se deben realizar más actividades de investigación y desarrollo sobre el ciclo del combustible de algunas tecnologías de los SMR. En las etapas tempranas de desarrollo, los ingenieros y diseñadores tienen la oportunidad única de trabajar para encontrar soluciones encaminadas a mejorar la gestión del combustible gastado y los desechos radiactivos de los SMR, destaca el Sr. Xerri. “Este enfoque permitirá abordar las incertidumbres relacionadas con la parte final del ciclo del combustible, reducir los costos y aumentar la aceptación social de la energía nucleoelectrica”, estima. El OIEA participa en varias actividades en curso relacionadas con los SMR y está intensificando sus esfuerzos para apoyar las actividades de investigación y desarrollo que los Estados Miembros realizan en este ámbito.

Fomento de la seguridad tecnológica y física del transporte del combustible gastado en el Reino Unido

Nathalie Mikhailova



El combustible gastado se transporta en contenedores específicamente concebidos para proteger a la población de su contenido radiactivo y resistir accidentes de transporte severos sin que se produzcan fugas importantes.

(Fotografía: International Nuclear Services)

El combustible nuclear gastado es altamente radiactivo y puede ser objetivo de robos o actos de sabotaje al ser transportado. Por tanto, para llevarlo de una instalación a otra es necesario planificar cuidadosamente el traslado y aplicar numerosas medidas de seguridad tecnológica y física.

En el Reino Unido, que cuenta con 15 reactores nucleares de potencia, varias empresas especializadas llevan décadas transportando combustible gastado en condiciones de seguridad tecnológica y física —tanto dentro del territorio nacional como desde otros países—, una actividad que les ha llevado a recorrer más de 19 millones de kilómetros. Los agentes de la industria han señalado que, para el éxito de estas empresas, ha sido clave disponer de un marco regulador sólido y la existencia de una comunicación eficaz entre las partes interesadas.

En el Reino Unido, las expediciones de combustible gastado son frecuentes: casi todas las semanas se efectúa al menos una desde algún rincón del país. La mayoría del combustible gastado de los reactores de potencia se sigue transportando todavía hoy a la instalación de Sellafield, ubicada en Cumbria (Inglaterra). Los servicios de transporte del combustible gastado dependen en gran medida de Direct Rail Services, que lleva trasladando materiales nucleares desde 1995 sin que se hayan producido accidentes que hayan entrañado emisiones de radiación.

“Disponemos de las capacidades y de la infraestructura para transportar de manera tecnológica y físicamente segura el combustible gastado y, lo que es más importante, acumulamos décadas de experiencia”, dice John Mulkern, Secretario General del Instituto Mundial de Transporte Nuclear (WNTI), una organización en red que representa los intereses colectivos del sector del transporte de materiales nucleares. “Esta experiencia es especialmente valiosa para los países que inician programas nucleoelectrónicos y, por tanto, tratan de desarrollar los sistemas de transporte necesarios”.

Creación y mantenimiento de un marco sólido para un transporte eficaz

El Organismo presta asistencia a los países en la elaboración y aplicación de estrategias de transporte que estén en consonancia con lo dispuesto en las normas de seguridad del OIEA pertinentes. Los requisitos de seguridad específicos establecidos en la publicación titulada *Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos (Colección de Normas de Seguridad del OIEA, N° SSR-6 (Rev.1))* han sido adoptados por la Organización de Aviación Civil Internacional para el transporte aéreo, por la Organización Marítima Internacional para las expediciones marítimas y por las autoridades reguladoras nacionales para el transporte terrestre, tanto por carretera como por ferrocarril.

Esta nueva versión del Reglamento, publicada en 2018, incluye requisitos relativos a la actividad y la clasificación de los materiales radiactivos, la definición de los distintos tipos de bultos y los contenidos permitidos en ellos, la funcionalidad del diseño de los bultos y los criterios de prueba para cada tipo. En el texto se definen, respecto de cada tipo de bulto, los requisitos que deben satisfacerse para que las autoridades reguladoras nacionales aprueben el diseño antes de poder empezar a utilizarlo, así como los requisitos en materia de documentación; etiquetado y marcado de bultos; límites de temperatura, radiación y contaminación de la superficie externa; límites para remesas; y capacitación.

En el caso de los embalajes, los requisitos se basan en el nivel de riesgo de los materiales que contendrán. En lo que respecta a los materiales radiactivos con un nivel de riesgo elevado, como el combustible gastado, los embalajes deben satisfacer los requisitos funcionales y de diseño prescritos que les permitan soportar accidentes severos de transporte que entrañen impactos e incendios sin que haya escapes importantes del contenido. El cumplimiento de estos requisitos se determina sometiendo los materiales a pruebas estrictas en situaciones diversas. British Nuclear Fuels Limited, por ejemplo, ha efectuado una serie de demostraciones en público en las que se simuló el choque de un tren contra un contenedor de combustible gastado a casi 160 km/h. El escaso daño causado al contenedor demostró hasta qué punto era seguro (véase el recuadro titulado “Base científica”).

“Otro aspecto importante del transporte es qué podemos hacer para infundir tranquilidad a las comunidades por las que transitan estos materiales acerca de la seguridad de la carga. La gente suele preocuparse al ver los contenedores”, señala el Sr. Mulkern. Por ejemplo, International Nuclear Services, una empresa dedicada a la gestión y el transporte del combustible nuclear, celebra periódicamente reuniones comunitarias y con las partes interesadas en Barrow-in-Furness, localidad

portuaria del norte de Inglaterra directamente comunicada por vía férrea con el emplazamiento de Sellafield, a fin de dar a conocer los materiales que transportan por el distrito y en todo el mundo y explicar por qué dicho transporte es totalmente seguro.

El transporte de materiales peligrosos también conlleva prevenir posibles robos o actos de sabotaje, para lo que se necesita una protección física adecuada, no solo por medio del diseño de los contenedores, sino también mediante los procedimientos de seguridad pertinentes. El OIEA presta asistencia a los países que lo solicitan en el desarrollo y el mantenimiento de regímenes de protección física, por ejemplo, apoyando la elaboración de reglamentaciones de seguridad física del transporte y por medio de ejercicios en esa esfera que tienen por objeto determinar las posibles deficiencias del régimen de seguridad en el transporte y efectuar las mejoras necesarias.

Planificación para el futuro

“Es importante que, en lo sucesivo, sigamos animando a los jóvenes a interactuar directamente con la industria nuclear y, en particular, con el sector del transporte”, afirma el Sr. Mulkern. “Dado que están construyéndose nuevas centrales nucleares en todo el mundo, debemos asegurarnos de que la experiencia y los conocimientos especializados existentes se transmitan de manera adecuada. Es necesario que, además de disponer de la información pertinente, la gente adquiera también experiencia en relación con las expediciones, ya sean de combustible gastado o de desechos procedentes de la clausura, y tengan la confianza necesaria para transportar estos materiales de forma correcta. Las actividades de transporte deben seguir ajustándose a los requisitos existentes, y tenemos que comunicar adecuadamente nuestra labor y las razones que la hacen segura”.

BASE CIENTÍFICA

Transporte del combustible nuclear gastado

Los tipos de bultos y los criterios funcionales para el transporte de materiales radiactivos se definen en función del riesgo que plantean sus contenidos y de las condiciones en que los bultos deberían preservar la contención y el blindaje de tales materiales. Los denominados bultos del Tipo B se utilizan para transportar los materiales con unos niveles de radiactividad más altos, como el combustible gastado. Estos bultos están diseñados no solo para soportar el calor generado por el contenido radiactivo, sino también para resistir accidentes de transporte severos sin que se produzcan fugas importantes del combustible gastado que viaja en su interior.

El transporte de materiales nucleares también comporta unos requisitos específicos en términos de marcado y etiquetado de los bultos y de rotulado de los medios de transporte, así como de documentación, límites de contaminación y radiación externa, controles operacionales, garantía de la calidad y notificaciones y aprobación de expediciones y tipos de bultos determinados.

La primera instalación para la disposición final segura del combustible gastado

Nathalie Mikhailova

Tras decenios de decidida cooperación en la implementación de estrategias de disposición final en Finlandia y Suecia y de colaboración para desarrollar una solución para la disposición final segura a partir de un diseño sueco, se está construyendo en Olkiluoto (Finlandia) el primer repositorio geológico profundo para combustible gastado. Suecia, junto con otros países, también está dando pasos para construir una instalación de ese tipo.

El combustible gastado sigue generando un calor considerable durante varios decenios después de haber sido retirado de los reactores nucleares de potencia, por lo que, para que se enfríe, se deposita en piscinas de agua o instalaciones de almacenamiento en seco. Las piscinas y los contenedores de almacenamiento garantizan la integridad del combustible gastado y evitan que se produzcan emisiones de radiación o de materiales radiactivos, protegen así a las personas y el medio ambiente de las exposiciones. Sin embargo, el combustible gastado tarda varios millares de años en perder su carácter altamente radiactivo y debe permanecer aislado durante cientos de miles de años.

La disposición final del combustible gastado —después de que haya sido declarado desecho— puede llevarse a cabo, una vez reducido el calor que genera, enterrándolo en instalaciones de almacenamiento en estructuras artificiales situadas a varios cientos de metros de la superficie, es decir, en instalaciones de disposición final geológica profunda. El objetivo es contener la radiactividad de este combustible encapsulándolo en recipientes resistentes y a prueba de fugas y aislándolo bajo tierra. Estas instalaciones constan de un sistema de túneles o cámaras y se construyen en emplazamientos geológicamente adecuados para velar por la seguridad a largo plazo de los materiales enterrados (véase el recuadro titulado “Base científica”).

La instalación que está construyéndose en Finlandia se basa en el concepto de disposición final denominado “KBS-3”, desarrollado por la Compañía Sueca de Gestión del Combustible y los Desechos Nucleares (SKB) en estrecha colaboración con Posiva, la empresa finlandesa que se encarga de la disposición final del combustible nuclear gastado. El método KBS-3 consiste en encapsular el combustible gastado en contenedores de cobre resistentes a la corrosión e insertar esos contenedores en arcilla expansiva dentro de los túneles del repositorio, a una profundidad de hasta 500 metros bajo el nivel del terreno.

“No es solo que Finlandia y Suecia coincidamos al optar por la disposición final directa del combustible gastado, sino que también tenemos reactores similares y, por tanto, combustibles gastados similares. Ambos países consideramos lógico ampliar la cooperación directa respecto de diversas actividades de

investigación y desarrollo”, dice Magnus Westerlind, Asesor Superior de la SKB. “Por ejemplo, casi todo el trabajo relativo a los contenedores de cobre se ha llevado a cabo como un proyecto de desarrollo conjunto”.

Las decisiones gubernamentales adoptadas por los dos países a finales de los años setenta y principios de los años ochenta dieron lugar a la adopción de políticas que imponían a los productores de desechos nucleares la obligación de encargarse también de su gestión. En Finlandia, el combustible gastado de la central nuclear de Loviisa se transportó a la Unión Soviética, y posteriormente a Rusia, para su reprocesamiento hasta 1996. Cuando el Gobierno de Finlandia expidió la licencia de explotación para la central nuclear de Olkiluoto en 1978, pidió al licenciatarario que elaborase un plan de gestión de desechos, incluido el combustible nuclear gastado, que debían someterse a disposición final en el país.

En Suecia, los propietarios de centrales nucleares se unieron a finales de los años setenta para formar la SKB con el objetivo de gestionar conjuntamente el combustible gastado. Así comenzaron diversas actividades de investigación y desarrollo para elaborar un concepto de disposición final que dieron como resultado el método KBS-3. Este concepto fue seleccionado en 1983 como medio adecuado para la disposición final de los desechos y desde entonces ha seguido perfeccionándose. Actualmente se ha elegido el emplazamiento en que se aplicará el concepto y los planes para las obras de construcción están en marcha.

“Un elemento importante al poner en práctica la estrategia de disposición final es el procedimiento de examen, que tiene lugar cada tres años”, afirma el Sr. Westerlind. “En el marco de este procedimiento se invita a numerosas partes — universidades, entidades gubernamentales, organizaciones no gubernamentales y municipios— a formular observaciones sobre nuestra estrategia. Tales observaciones no solo han contribuido notablemente al examen técnico de nuestro programa, sino también a garantizar que está en consonancia con las políticas de Suecia”. Además, el Sr. Westerlind añade que se ha trabajado y se sigue trabajando mucho para conseguir y mantener la aceptación del público respecto de la selección del emplazamiento de la instalación de disposición final de combustible gastado y su construcción.

Construcción de la primera instalación de disposición final en Finlandia

Antes de empezar a construir una instalación de disposición final, la empresa encargada de ejecutar el concepto debe obtener una licencia de obras. Finlandia expidió en 2015 la primera licencia concedida en todo el mundo para una instalación de disposición final geológica.

La selección del emplazamiento se llevó a cabo tras evaluar una serie de opciones durante varios años. Una vez analizadas las tierras del país a partir de datos de carácter geológico, Posiva prosiguió la caracterización de los emplazamientos realizando estudios específicos para cada uno de ellos, que incluyeron perforaciones, con el fin de hallar un entorno geológicamente adecuado. Durante este proceso, Posiva también entabló conversaciones con diversos municipios acerca de la posibilidad de albergar una instalación de estas características.

“La aceptación social y los factores sociales son fundamentales al elegir el emplazamiento”, señala Jussi Heinonen, Director del Departamento de Regulación de los Desechos Nucleares y Salvaguardias de la Autoridad de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) de Finlandia. “La aceptación social tiene que ver con la confianza respecto del encargado de llevar a cabo el proyecto, del regulador y de los responsables de la adopción de decisiones, y esta confianza es algo que hay que generar y mantener”.

Posiva está en plena construcción de la instalación de disposición final ONKALO, situada a más de 400 metros bajo el nivel del terreno, y está previsto que las obras de excavación de los túneles para la disposición final comiencen pronto. El procedimiento de disposición final debería ponerse en marcha en 2024.

Avances en otros países

En 2011, la SKB presentó una solicitud de licencia para la construcción de una instalación de disposición final en Forsmark, a 150 kilómetros al norte de Estocolmo, que examinaron la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica (SSM) y el Tribunal de Tierras y Medio Ambiente. Estas autoridades, a su vez, han presentado al Gobierno los informes



La instalación de disposición final para combustible gastado ONKALO, que se está construyendo en Olkiluoto (Finlandia), consta de un sistema técnico de túneles. Esta instalación también se utiliza para caracterizar la roca hospedante a fin de contribuir a la elaboración de la justificación de la seguridad.

(Fotografía: Posiva Oy)

pertinentes tras examinar la solicitud para que se adopte una decisión definitiva al respecto.

Finlandia y Suecia no son los únicos países que están realizando avances en esta esfera. En Francia, la Agencia Nacional de Gestión de Desechos Radiactivos (Andra) está preparando una solicitud de licencia. En el Canadá y Suiza, las respectivas agencias nacionales de gestión de desechos han recurrido a la caracterización de emplazamientos en busca de lugares adecuados para este tipo de instalaciones.

BASE CIENTÍFICA

Instalaciones de disposición final geológica profunda

Intensas investigaciones han permitido determinar la idoneidad de distintos tipos de roca para albergar instalaciones de disposición final geológica profunda con el propósito de aislar los desechos radiactivos. Estas instalaciones se construyen en formaciones geológicas adecuadas a varios centenares de metros de profundidad y se diseñan de manera que puedan contener desechos de actividad alta durante cientos de miles de años.

Una característica fundamental de las instalaciones de disposición final geológica profunda es su aportación en términos de seguridad pasiva, es decir, que una vez se han cerrado, ya no requieren la intervención humana.

Construir estas instalaciones a varios centenares de metros bajo el nivel del terreno —una profundidad que, en la práctica, aísla los desechos de las perturbaciones que podrían producirse en la superficie durante cientos de miles de años— supone ubicar los desechos en un medio estático, en contraposición con el medio geológico cercano a la superficie, que es más dinámico y suele tener unas condiciones menos estables.

La estrategia de China de gestión del combustible gastado para hacer frente al crecimiento

Tras la enorme expansión económica que dio comienzo a principios del decenio de 1990, las autoridades de China consideran que la energía nuclear es un elemento fundamental para garantizar la seguridad del suministro de energía y reducir la huella de carbono en el país. China ha puesto en marcha un ambicioso programa nucleoelectrico que ha ido creciendo con el paso de los años.

Actualmente, China tiene 46 reactores nucleares en funcionamiento con una capacidad total de energía eléctrica de 45 GW(e), que generan alrededor del 4 % de la electricidad del país. Con 11 nuevos reactores en fase de construcción o de planificación, el 20 % de los reactores nucleares en construcción en el mundo se encuentran en China. Según las estimaciones de la Academia China de Ingeniería, se prevé que la capacidad nuclear de China alcance los 150 GW(e) en 2035 y los 300 GW(e) en 2050.

Ante una expansión de estas dimensiones, también aumentará la cantidad de combustible gastado que habrá que gestionar. Por esta razón, China está realizando progresos en la mejora de su estrategia del ciclo del combustible nuclear mediante la ampliación de su infraestructura de gestión del combustible gastado y de los desechos radiactivos.

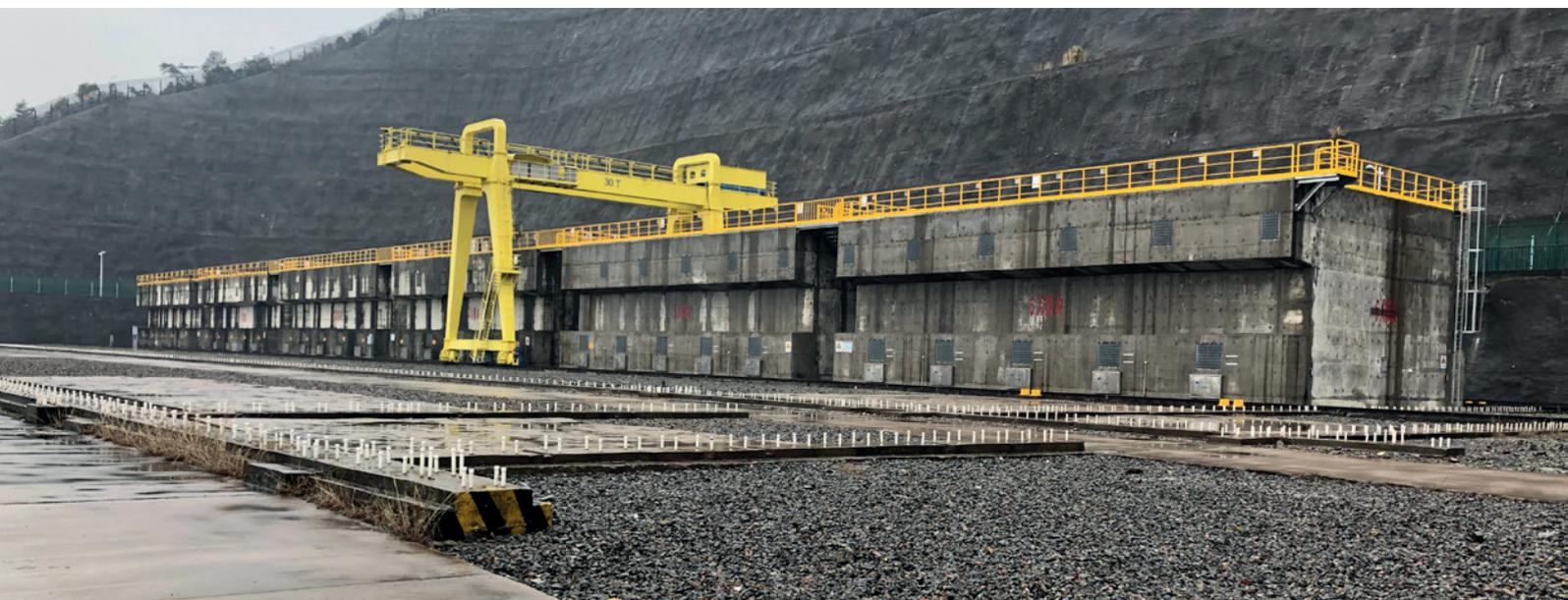
China ha optado por una política de ciclo cerrado del combustible nuclear, que incluye el almacenamiento del combustible gastado en instalaciones tanto dentro como fuera del emplazamiento del reactor, el posterior transporte del combustible para su reciclado y, en su caso, su uso en reactores rápidos. Su primer prototipo, el Reactor

Experimental Rápido de China (CEFR) de 65 MW(e), se conectó a la red en 2011 y ha servido de base para desarrollar un reactor rápido de demostración de 600 MW(e), que se está construyendo actualmente y cuya puesta en servicio está prevista para 2023. La construcción de la primera unidad comercial, con una capacidad de entre 1000 y 1200 MW(e), podría iniciarse en diciembre de 2028 y la explotación podría empezar en 2034 aproximadamente. De acuerdo con la estrategia sobre energía nucleoelectrica publicada por China, se prevé un predominio de la tecnología de los reactores rápidos para mediados del siglo.

Entretanto, la estrategia consiste en reprocesar el combustible gastado de los reactores de agua a presión (PWR) existentes y reciclarlo en combustible de óxidos mixtos (MOX) para alimentar estos reactores. China ya tiene en funcionamiento una planta piloto de reprocesamiento en la provincia de Gansu con una capacidad de 200 toneladas anuales de uranio (t U/a) y, en enero de 2018, China y Francia firmaron un acuerdo para la construcción de una planta de reprocesamiento y reciclado destinada a producir combustible MOX para PWR. En junio de 2018, Orano y la Corporación Nuclear Nacional de China iniciaron los trabajos preparatorios para la planta de reprocesamiento de combustible gastado, que tendrá una capacidad de 800 toneladas de uranio anuales.

Para 2050 se prevé haber finalizado la construcción de un repositorio geológico de disposición final para desechos de actividad alta. Se ha finalizado la selección del emplazamiento para un laboratorio subterráneo y se prevé que este esté construido para 2026.

Almacenamiento del combustible gastado en la central nuclear de Qinshan en China. Se prevé almacenar el combustible gastado en el emplazamiento en contenedores con sistemas de protección y ventilación hasta que se haya construido la instalación de reciclado y reprocesamiento de combustible nuclear gastado de China. (Fotografía: M. Gaspar/OIEA)



Nuevo curso de aprendizaje electrónico sobre gestión del combustible gastado de reactores nucleares de potencia

Natalia Ivanova

El OIEA ha diseñado un curso de aprendizaje electrónico en línea para presentar a grandes rasgos las distintas estrategias de gestión del combustible gastado que se aplican en todo el mundo. El curso forma parte del plan de estudios sobre gestión del combustible gastado y los desechos radiactivos, clausura y rehabilitación ambiental, que comprende varios módulos más.

Destinado a profesionales del sector nuclear, personas legas en la materia y estudiantes de ciencias e ingeniería, en el curso se explican distintas opciones para la gestión del combustible gastado y los factores que pueden influir al elegir una estrategia de gestión determinada para un país. Se trata del curso más detallado sobre esta cuestión elaborado por el OIEA hasta la fecha.

Actualmente, 4 de las 13 presentaciones están disponibles en la Ciberplataforma de Aprendizaje para la Enseñanza y Capacitación en Red del OIEA o en la plataforma IAEA CONNECT. Las restantes se publicarán a principios de 2020 y, además de en inglés, estarán disponibles en español, francés, japonés y ruso.



Contenido del curso

Las dos primeras presentaciones, que ofrecen una introducción a la gestión del combustible gastado, abarcan todos los aspectos relativos a esta cuestión: desde que este combustible se descarga del núcleo de un reactor nuclear hasta que se considera como desecho y se procede a su disposición final en un repositorio geológico profundo. Estas ponencias proporcionan asimismo un panorama general de las distintas opciones para la gestión del combustible gastado, los factores que influyen en la elección de la estrategia correspondiente y las repercusiones de decantarse por una u otra opción. En las presentaciones 3 y 4, relativas al almacenamiento del combustible gastado, se explican las distintas opciones y tecnologías para el almacenamiento en húmedo y en seco del combustible nuclear gastado, así como las consideraciones generales sobre la seguridad del almacenamiento de combustible nuclear gastado para cumplir el objetivo fundamental de la seguridad de proteger a las personas y el medio ambiente contra los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.

“En las demás presentaciones se abordarán las características del combustible gastado y el transporte, así como las tecnologías de reciclaje del combustible gastado y los ciclos del combustible innovadores para

los reactores de la Generación IV”, señala Amparo González Espartero, Jefa Técnica en materia de gestión del combustible gastado en el OIEA.

“Del contenido técnico de estas presentaciones se ha encargado un grupo de expertos de países con opiniones y estrategias variadas en cuanto a la gestión de su combustible gastado, por lo que es un material muy equilibrado y que se basa en hechos y cifras”, añade.

Las presentaciones se inician con una lista y un resumen de los objetivos del aprendizaje electrónico, seguidos de unas explicaciones más detalladas. Cada módulo está subdividido en capítulos para facilitar una comprensión más profunda del material, e incluye, al final, un pequeño cuestionario para poner a prueba los conocimientos de los usuarios, así como resúmenes sonoros de los aspectos principales de la presentación. Gracias a esta estructura modular, los usuarios pueden consultar los temas según sus necesidades. En los módulos se usan distintos formatos multimedia, como vídeos y ejercicios interactivos, para ilustrar la información y hacerla más accesible. Los usuarios también tienen a su disposición el texto de la narración, materiales complementarios y un glosario para profundizar en la materia.

Gestión del combustible gastado: cuatro decenios de investigación

Laura Gil

El auge de la construcción de centrales nucleares en las décadas de 1960 y 1970 brindó la esperanza de una nueva era energética y, al mismo tiempo, trajo consigo un desafío desconocido: la gestión del combustible gastado descargado de las centrales. ¿Podía reciclarse? ¿Era factible su disposición final? ¿Podía almacenarse? De ser así, ¿durante cuánto tiempo y en qué condiciones?

Con el paso de los años, los expertos han dado respuesta a todas estas preguntas. El trabajo de casi cuatro decenios de investigaciones coordinadas por el OIEA sobre la gestión del combustible nuclear gastado se ha plasmado en una nueva publicación, *Behaviour of Spent Power Reactor Fuel during Storage* (IAEA-TECDOC-1862), que ya puede consultarse. En ella se recopilan los datos, las observaciones y las recomendaciones pertinentes que los expertos han dado a conocer sobre esta cuestión desde 1981.

“Cuando empezamos a investigar en colaboración con el OIEA, a principios de la década de 1980, éramos conscientes de las diversas repercusiones técnicas y científicas asociadas al almacenamiento del combustible gastado, que es muy radiactivo”, señala Ferenc Takáts, Director Ejecutivo de la empresa húngara de consultoría de ingeniería TS Enercon. “Tratábamos de obtener información básica al respecto para crear una base de datos general de los países con experiencia, ya que, en ese momento, no existía nada parecido”.

En los albores de la energía nucleoelectrónica, muchos países habían planeado reciclar su combustible gastado para sacar el máximo partido al uranio que utilizaban. El primer paso del reciclaje es el reprocesamiento, proceso químico en el que se separa el material fisible y el plutonio y el uranio no utilizados del combustible para su reutilización en nuevos combustibles de óxidos mixtos (MOX). En la actualidad, Francia, el Reino Unido y Rusia disponen de plantas comerciales de reprocesamiento.

Otros países, como el Canadá, los Estados Unidos, Finlandia y Suecia, han optado por la disposición final del combustible gastado, en lugar de por su reciclaje. Esa alternativa consiste en ubicar de manera segura el combustible gastado en lugares subterráneos profundos, en condiciones que imposibilitan su recuperación.

En un primer momento, todos los países habían previsto reprocesar el combustible gastado, ya fuera en instalaciones propias o en otros países. Sin embargo, la disposición final

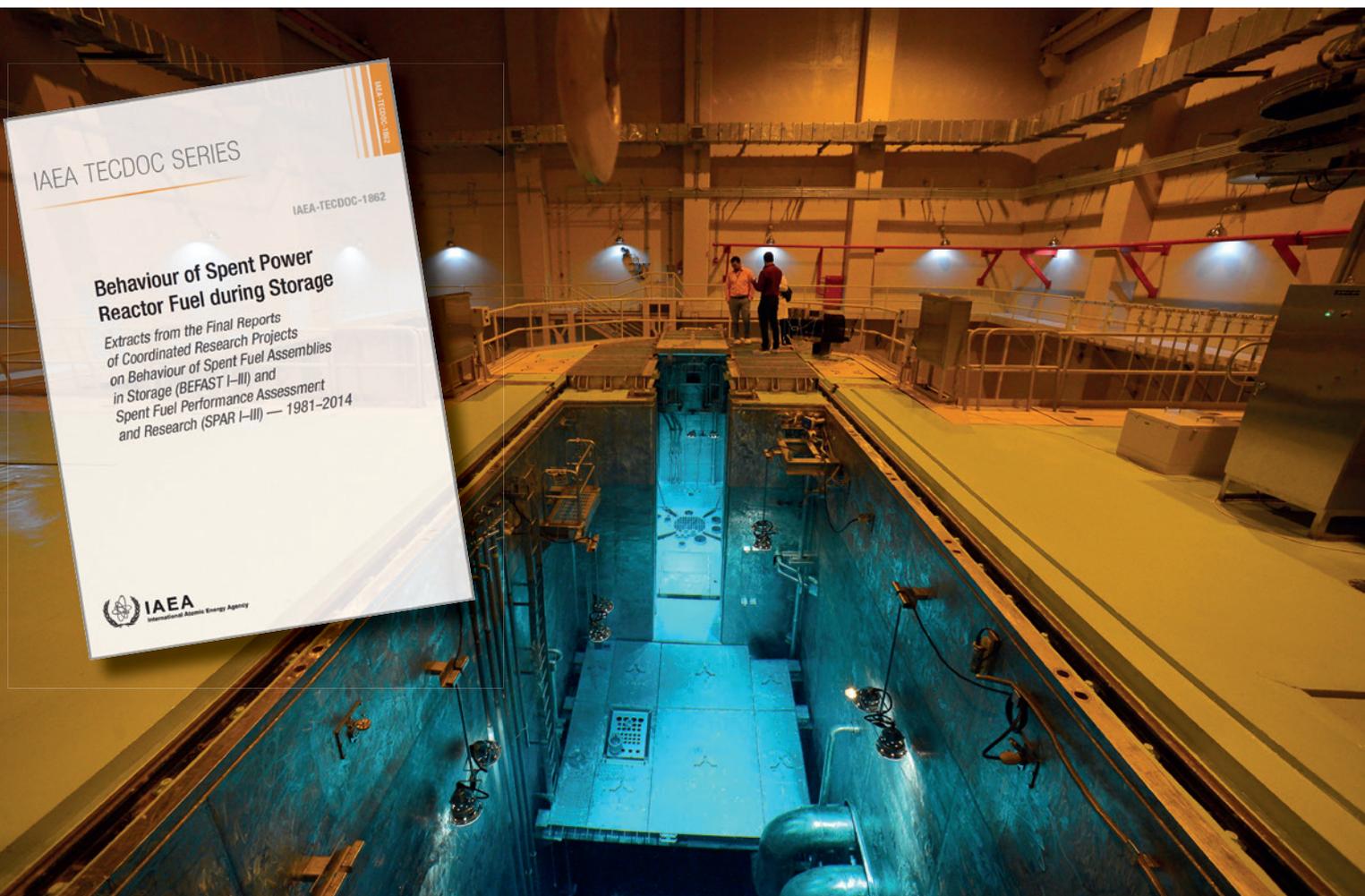
directa pasó a ser la opción predilecta de la mayoría de los países en las décadas de 1980 y 1990, dado que el precio del uranio se mantenía bajo y el reprocesamiento planteaba preocupaciones ambientales. A principios de la década de 2000, el interés por el reprocesamiento volvió a aumentar, a raíz de la necesidad de una electricidad barata y con bajas emisiones de carbono y de la preocupación por la disponibilidad de uranio a más largo plazo.

Como el debate seguía en curso y las posturas iban cambiando, las autoridades retrasaron su decisión en repetidas ocasiones y el almacenamiento temporal del combustible gastado acabó prolongándose más de lo previsto.

Proyecto de investigación del OIEA

En ese contexto, y en vista de que la opción preferida era el almacenamiento provisional, en 1981 se puso en marcha el primero de una serie de proyectos coordinados de investigación (PCI) del OIEA. Expertos de diez países empezaron a estudiar y a analizar el comportamiento del combustible gastado durante el almacenamiento en un proyecto denominado BEFAST, que abarcó todas las actividades relacionadas con el almacenamiento del combustible hasta su reprocesamiento o su envío con fines de disposición final. Los países participantes contribuyeron aportando sus resultados en la esfera de la investigación y el desarrollo sobre cuestiones fundamentales relativas al almacenamiento del combustible gastado y empezaron a crear una base de datos para ayudar a evaluar las tecnologías de almacenamiento del combustible gastado destinadas al almacenamiento durante períodos extremadamente prolongados. A partir de 1997 se puso en marcha una nueva serie de PCI que, esta vez, se centraron más específicamente en la evaluación e investigación del comportamiento del combustible gastado, a saber, el proyecto SPAR.

En las investigaciones en el marco de los proyectos BEFAST y SPAR participaron 30 organizaciones de 21 países y la Comisión Europea. Las investigaciones han propiciado un intercambio de información de utilidad para los explotadores de instalaciones del ciclo del combustible, los diseñadores de centrales nucleares, los reguladores, los fabricantes y, en especial, para los actores que participan en la evaluación de la seguridad. “Cada uno de nosotros puede aportar una visión diferente sobre el mismo tema de interés común”, afirma el Sr. Takáts.



IAEA TECDOC SERIES

IAEA-TECDOC-1862

Behaviour of Spent Power Reactor Fuel during Storage

Extracts from the Final Reports of Coordinated Research Projects on Behaviour of Spent Fuel Assemblies in Storage (BEFAST I-III) and Spent Fuel Performance Assessment and Research (SPAR I-III) — 1981-2014



En 1997, mientras el Sr. Takáts trabajaba para una empresa de consultoría de Hungría, el país llevaba más de diez años ejecutando su programa nucleoelectrico. Dado que no podía exportar su combustible gastado, Hungría tuvo que construir otra instalación de almacenamiento en seco cerca de la central nuclear. Era una tarea compleja, ya que los reguladores temían que la temperatura del combustible gastado —que seguía siendo radiactivo y, al principio, emitía una gran cantidad de calor— fuese tan alta que hiciese inviable el almacenamiento.

“Esas incertidumbres nos llevaron a limitar la temperatura de almacenamiento del combustible gastado a menos de 350 °C, lo que supuso una carga adicional innecesaria para el diseñador”, dice el Sr. Takáts, que añade que los resultados prácticos del proyecto del OIEA tuvieron una utilidad didáctica para los reguladores. “Afortunadamente, en aquel momento participaba en el PCI BEFAST y pude consultar a un experto de Alemania, país que acumulaba un conocimiento mucho más profundo sobre el comportamiento de las vainas del combustible sometidas a altas temperaturas en condiciones de almacenamiento en seco. Gracias a las pruebas

obtenidas por otros países pudimos demostrar que nuestra reglamentación era demasiado estricta y debía enmendarse, a tenor de los resultados de las investigaciones colectivas”.

Se hizo un estudio a partir de las conclusiones del PCI y se presentó al regulador, quien aceptó la argumentación y aumentó el límite de la temperatura de almacenamiento. Es uno de los muchos ejemplos en que las actividades de investigación coordinadas por el OIEA y realizadas por expertos en la materia han reportado beneficios a los explotadores.

“Todas las investigaciones nos ayudan a mantener una vigilancia tecnológica constante del comportamiento del combustible gastado”, afirma Laura McManniman, especialista en gestión del combustible gastado del OIEA. “Los proyectos son un buen medio de colaboración e investigación, pues sirven de plataforma para que los expertos compartan información libremente”.

El documento IAEA-TECDOC-1862, que recopila los aspectos más notables de esa labor de investigación, puede consultarse en línea o, previa solicitud, en formato impreso.

La integración de las salvaguardias en el diseño de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado

Adem Mutluer

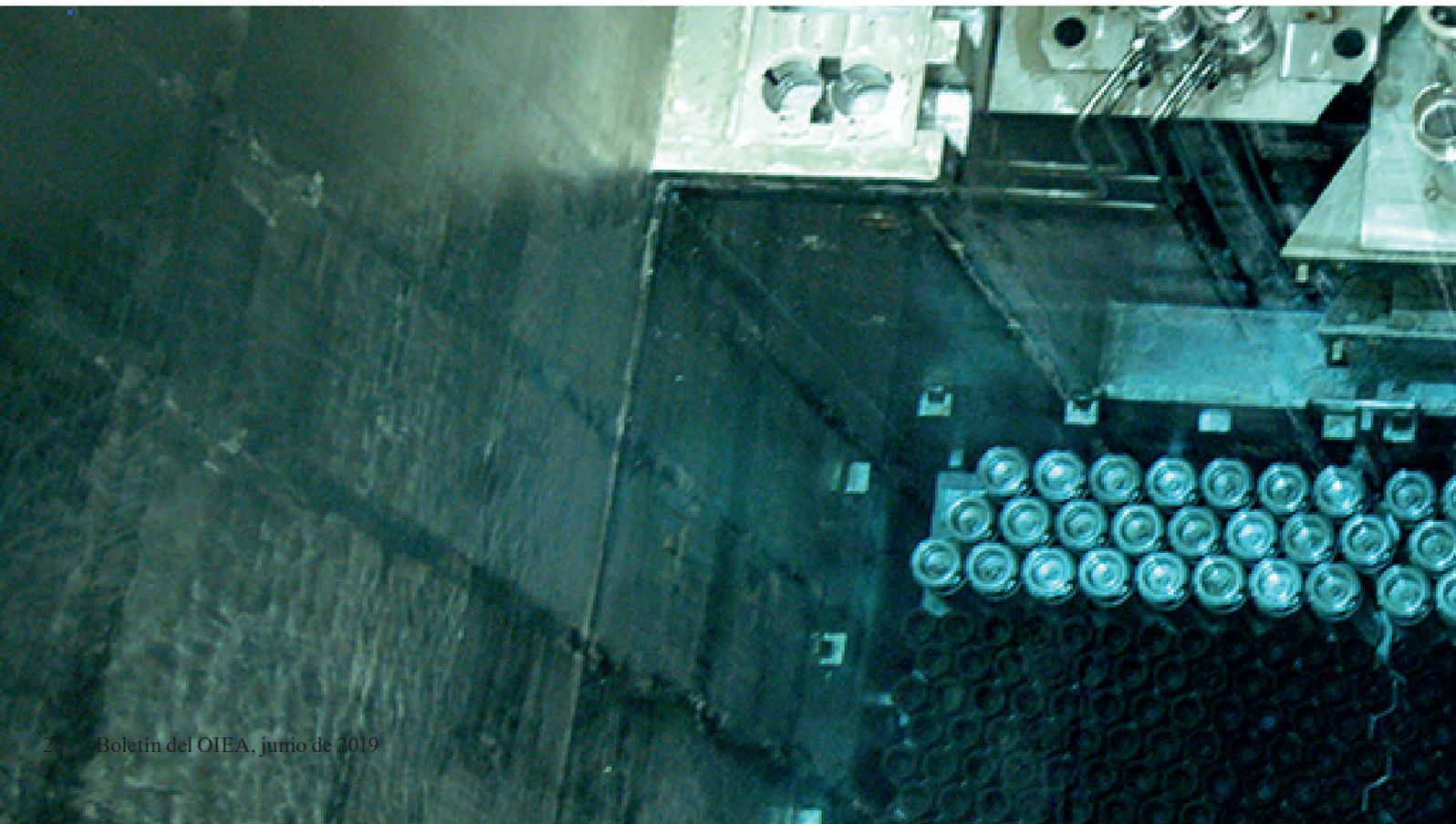
La labor del OIEA consiste en mejorar la contribución de la tecnología nuclear a la paz y la prosperidad en todo el mundo y, al mismo tiempo, verificar que los materiales nucleares no se desvíen de los usos pacíficos. Las salvaguardias del OIEA, una parte importante del régimen mundial de no proliferación nuclear, permiten verificar de manera independiente que los Estados cumplen sus obligaciones jurídicas internacionales. Para contribuir a esta labor, el OIEA publica una serie de documentos sobre la incorporación de las salvaguardias en el diseño que contienen orientaciones, a fin de que los diseñadores y los explotadores de las instalaciones tengan en cuenta, desde las primeras etapas del proceso de diseño, las actividades de salvaguardias que son de importancia para las instalaciones nucleares, incluidas las de almacenamiento de combustible gastado.

Considerar los requisitos de salvaguardias antes de emprender la construcción o la modificación de una instalación, un concepto que recibe el nombre de incorporación de las salvaguardias en el diseño, es algo voluntario y tiene como objetivo facilitar una mejor aplicación de los requisitos de salvaguardias existentes. No obstante, aplicar este concepto permite efectuar las inspecciones de salvaguardias de manera más eficaz y eficiente, reduciendo al mismo tiempo la carga que han de soportar los explotadores de las instalaciones.

Según Jeremy Whitlock, Jefe de la Sección de Conceptos y Enfoques del Departamento de Salvaguardias del OIEA, “la idea es que las nuevas instalaciones de almacenamiento de combustible gastado que se construyan incluyan características compatibles con las salvaguardias. Ser conscientes de estas características durante el diseño y la construcción de las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado permite llevar a cabo las actividades de salvaguardias sin afectar apenas el funcionamiento de las instalaciones objeto de la inspección”.

Tener presentes las salvaguardias desde las primeras etapas del proceso de diseño y construcción facilita el diálogo abierto entre las partes interesadas sobre el funcionamiento de la instalación, los requisitos de salvaguardias y demás temas conexos, lo que favorece el desarrollo de métodos de verificación que reduzcan al mínimo el impacto de la aplicación de salvaguardias en el explotador, sin que la eficacia de las actividades de salvaguardias que se realicen se resienta. Además, estos métodos mejorarán la eficiencia de las salvaguardias al ayudar al OIEA a llevar a cabo sus actividades de verificación de manera óptima.

Los diseñadores que poseen conocimientos sobre las actividades de salvaguardias pueden además planificar de manera más eficaz las posibles necesidades de las actividades



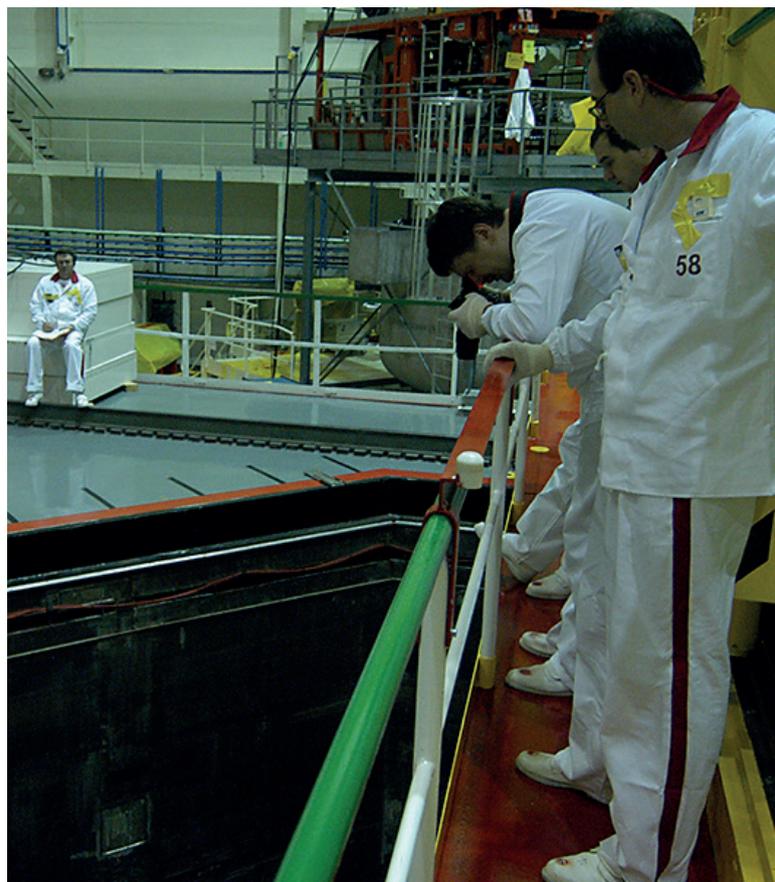
de verificación, entre otras, reducir al mínimo la exposición de los inspectores a la radiación, mejorar el acceso al equipo de salvaguardias para llevar a cabo tareas de mantenimiento, garantizar la existencia de capacidades para transmitir datos a distancia desde el emplazamiento y mitigar la incidencia de hechos que puedan perturbar la verificación.

Las instalaciones de almacenamiento de combustible gastado son una parte esencial del ciclo del combustible nuclear, y las salvaguardias del OIEA seguirán evolucionando para dar respuesta a los desafíos de verificación conexos. La aplicación de salvaguardias a las instalaciones de almacenamiento de combustible nuclear gastado es igualmente una parte fundamental de la labor de verificación del OIEA. En 2018 se aplicaron salvaguardias a 82 instalaciones de almacenamiento de combustible nuclear gastado de más de 25 Estados de todo el mundo, que albergaban aproximadamente 57 000 cantidades significativas de materiales nucleares.

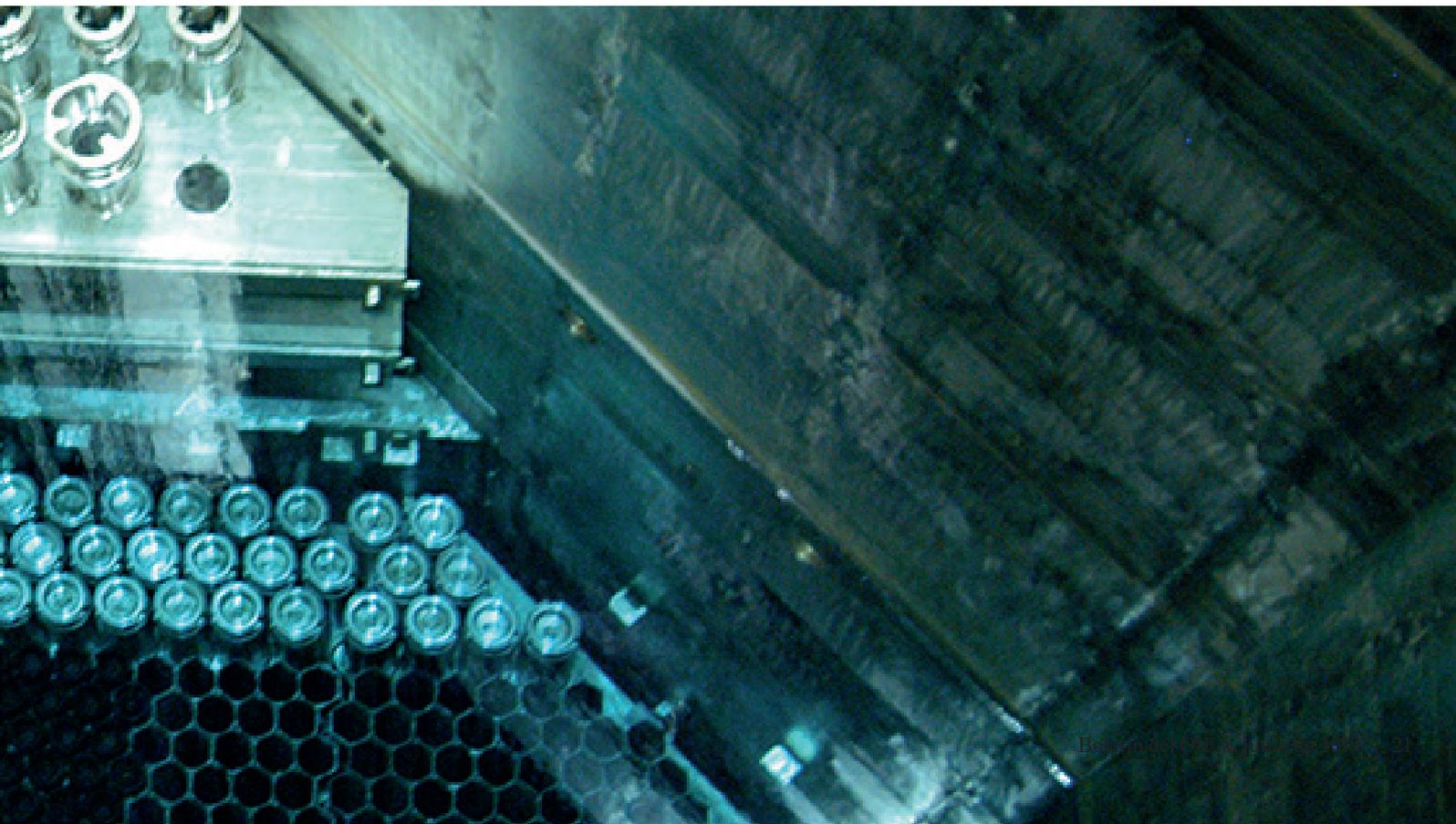
Al preparar el proyecto de una instalación de almacenamiento de combustible nuclear gastado, es especialmente importante que los responsables del diseño conozcan la vida del combustible gastado. Cabe la posibilidad de que esas instalaciones deban garantizar que los materiales sean recuperables durante un período largo de tiempo, por ejemplo 100 años.

Para el Sr. Whitlock, “desde la perspectiva del diseño, antes de tomar cualquier decisión sobre este, es importante entender todo el abanico de posibles actividades de salvaguardias y su incidencia en el diseño de la instalación de almacenamiento de combustible gastado. Gracias a una planificación temprana, la infraestructura de la instalación puede ser lo suficientemente flexible como para ser compatible con futuras innovaciones tecnológicas que pueden beneficiar tanto a los explotadores como a la aplicación de salvaguardias”.

Los distintos documentos sobre la incorporación de las salvaguardias en el diseño se pueden consultar en el sitio web del OIEA.



Capacitación de inspectores en la instalación de almacenamiento de combustible gastado de la central nuclear de Mochovce (Eslovaquia). (Fotografía: D. Calma/OIEA)



El diseño ganador del Concurso de Tecnología Robótica ayuda a acelerar la verificación del combustible gastado

Adem Mutluer

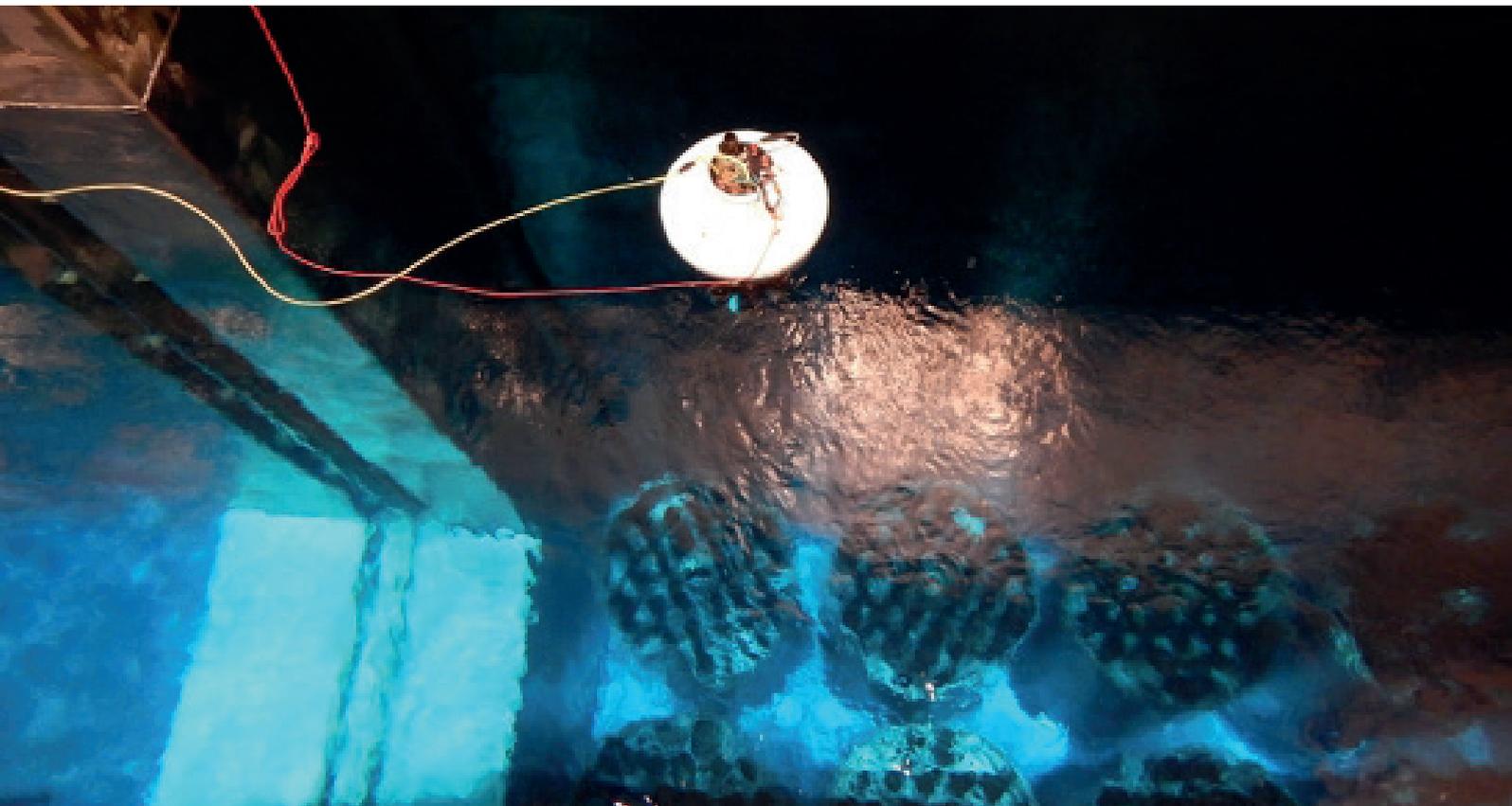
Aunque el combustible nuclear gastado ya no puede mantener reacciones nucleares en cadena que sean capaces de generar electricidad, sigue conteniendo materiales nucleares que se pueden utilizar para fabricar armas. Por esta razón, la verificación del combustible gastado es un componente fundamental de la labor del OIEA en materia de salvaguardias nucleares.

Por lo general, el combustible gastado se almacena sumergiéndolo en agua para enfriarlo. En esas condiciones, verificar el combustible nuclear gastado puede ser un proceso complicado y largo. Para hacerlo, los inspectores del OIEA han de situarse encima de las piscinas de combustible nuclear gastado para sacar fotografías de los distintos conjuntos de combustible gastado, de los que puede haber cientos a la vez. Este proceso se ha señalado como un ámbito en el que la robótica puede ser útil; por ello, en 2017, el OIEA puso en marcha un concurso de ideas y soluciones para aumentar la eficacia y la eficiencia de la verificación del combustible gastado.

Al realizar sus actividades de inspección en las instalaciones nucleares de todo el mundo, los inspectores de salvaguardias utilizan con frecuencia un pequeño instrumento óptico de mano denominado dispositivo mejorado de observación de la radiación de Cherenkov (ICVD) para confirmar la presencia de combustible nuclear gastado almacenado bajo el agua, que es donde se suele sumergir para enfriarlo una vez retirado del núcleo del reactor. Los inspectores han de verificar que la cantidad de combustible almacenado coincida con la declarada por las autoridades nacionales y que no se haya retirado nada de combustible para su posible desvío de los usos pacíficos.

Actualmente, los inspectores de salvaguardias tienen que sostener el ICDV desde una grúa suspendida sobre la piscina de combustible gastado y, de forma manual, observar los distintos conjuntos de combustible a través de una lente. Con el Concurso de Tecnología Robótica, el OIEA buscaba diseños que permitieran acoplar el dispositivo de observación de la radiación Cherenkov de la próxima generación (XCVD), de reciente creación y capaz de grabar en formato digital,

El diseño de vehículo de superficie no tripulado ganador se probó en un contexto real en la central nuclear de Loviisa (Finlandia). (Fotografía: OIEA)



dentro de una pequeña plataforma flotante robotizada que se propulsara de forma autónoma por la superficie de la piscina de combustible gastado. Al estabilizar el XCVD en posición vertical, el vehículo de superficie no tripulado (USV) podría facilitar la obtención de imágenes más claras en menos tiempo.

Se recibieron más de 300 propuestas para el Concurso, de las que se seleccionaron 12 para realizar una demostración y, de estas, 3 se probaron en un contexto real. A principios de 2019 se anunció el ganador del Concurso de tecnología robótica del OIEA. Tal distinción recayó en un USV diseñado por un grupo de ingenieros húngaros, que fue seleccionado tras una evaluación exhaustiva de su diseño y comportamiento por expertos del OIEA. Dimitri Finker, especialista en previsión tecnológica del Departamento de Salvaguardias del OIEA, explica que “en la fase final del Concurso de Tecnología Robótica, en noviembre de 2018, los diseños se probaron en un contexto real en una piscina de almacenamiento de combustible gastado de una central nuclear de Finlandia, lo que brindó a nuestros expertos la oportunidad de examinar los méritos de cada diseño y evaluar cuáles se ajustaban a las necesidades operacionales en materia de salvaguardias, incorporaban los aspectos de seguridad y ofrecían las imágenes de más calidad para la verificación”. El OIEA comenzará a trabajar con sus Estados Miembros, los explotadores de las instalaciones nucleares y los diseñadores del USV ganador para ultimar el diseño y asegurarse de que cumpla los requisitos y la reglamentación aplicables. Mientras tanto, solicitará a sus Estados Miembros autorización para utilizar el USV sobre el terreno.

“Estamos muy contentos de que nuestro diseño haya sido elegido, teniendo en cuenta la gran competencia que había. Es apasionante contribuir a los esfuerzos de no proliferación nuclear y a la importante labor de verificación del OIEA”, afirma Peter Kopias, propietario y Director General de Datastart, la empresa ganadora. “El Concurso de Tecnología Robótica buscaba una solución creativa de ingeniería. Me complace que nuestro diseño único responda a las necesidades de los usuarios”.

Además del concurso de tecnología robótica, el OIEA organiza otros concursos para descubrir tecnologías prometedoras que le podrían ser de ayuda y contribuir a su desarrollo. “Normalmente, cuando se realiza una licitación oficial de equipos técnicos aplicables a la labor de salvaguardias, solo se pretende que se presenten unas cuantas instituciones muy especializadas. Con los concursos tecnológicos del OIEA se tratan de obtener soluciones de cientos de partes interesadas en la tecnología”, dice el Sr. Finker. El concurso más reciente del OIEA, de reconstrucción y análisis mediante tomografía, tiene como objetivo mejorar el proceso de verificación del combustible nuclear gastado con técnicas avanzadas de procesamiento de datos para analizar las imágenes obtenidas mediante ICVD y, posiblemente, mediante XCVD.

Expertos del OIEA examinan el comportamiento del diseño de vehículo de superficie no tripulado ganador.

(Fotografía: OIEA)



Cómo simplificar el transporte y el almacenamiento del combustible gastado de los reactores nucleares de potencia

Nicole Jawerth

El almacenamiento y el transporte de combustible nuclear gastado altamente radiactivo requiere adoptar precauciones y medidas de seguridad tecnológica y física firmes. Hasta la fecha, por lo general se han utilizado contenedores independientes, también conocidos como cofres, para almacenar y transportar el combustible gastado desde las centrales nucleares hasta la planta de almacenamiento y, en última instancia, a la instalación en que sería sometido a disposición final o a reciclado. Existe, sin embargo, otro método que simplifica este proceso, con lo que se reducen los costos y aumenta la seguridad: utilizar cofres de doble uso, aptos tanto para el almacenamiento como para el transporte.



Para saber más sobre estos cofres tan especiales y su función en la gestión segura del combustible nuclear gastado, Nicole Jawerth, Directora Editorial del *Boletín del OIEA*, entrevistó a Bernd Roith, funcionario de la Sección de Transporte y Gestión Previa a la Disposición Final, de la Inspección Federal de Seguridad Nuclear de Suiza (ENSI). El Sr. Roith lleva ocho años trabajando en el ámbito de las soluciones de transporte y almacenamiento del combustible nuclear gastado y, además, suele participar en calidad de experto en proyectos del OIEA para fortalecer la gestión segura del combustible gastado.

P: El combustible nuclear gastado es una mezcla de elementos radiactivos, como el uranio y el plutonio, por lo que es fundamental que su manipulación se lleve a cabo en condiciones de seguridad tecnológica y física. ¿Qué son exactamente los cofres de doble uso y qué papel desempeñan en la gestión tecnológica y físicamente segura del combustible gastado?

R: No existe una solución universal para la gestión del combustible gastado: cada país tiene sus propios procesos y estrategias. Algunos almacenan el combustible gastado en piscinas; otros utilizan sistemas basados en contenedores o construcciones especiales que permiten el almacenamiento en seco, y existe incluso un tercer grupo de países que ha optado por reprocesarlo.

Los cofres de doble uso son una de las alternativas para el almacenamiento en seco y el transporte. Están diseñados para garantizar que no haya emisiones de material radiactivo, tanto durante el almacenamiento como durante el transporte. Mientras que sus características exactas dependen de las necesidades nacionales en materia de gestión del combustible gastado, los cofres suelen ser contenedores grandes y bastante estrechos, con forma de barril, que albergan el combustible nuclear gastado o desechos radiactivos de actividad alta durante el transporte y el almacenamiento provisional. Habitualmente los cofres de doble uso están hechos de acero o de hierro fundido y cuentan con un sistema de doble tapa con tornillos que impide las fugas pero, al mismo tiempo, permite recuperar el combustible de manera fácil y segura según sea necesario.

Todos los cofres de doble uso deben respetar unas normas de seguridad estrictas y cumplir cuatro funciones principales: integridad mecánica, evacuación del calor, blindaje y control de la criticidad. La necesidad de condensar todas estas características en un único diseño y de ajustarse a la normativa internacional en materia de transporte y a los requisitos nacionales para el almacenamiento convierten el diseño y la utilización de estos cofres en procesos muy complejos. Sin embargo, una vez instalados, simplifican otras etapas del proceso de gestión.

P: ¿Qué ventajas ofrecen los cofres de doble uso respecto a otros métodos de almacenamiento?

R: Los cofres de doble uso permiten prescindir de algunas de las etapas de la manipulación del combustible gastado. En general, muchas de las otras alternativas obligan a contar en cada etapa con distintos contenedores o instalaciones de almacenamiento, lo que supone transferencias de combustible adicionales a pesar de que esos contenedores no suelen estar diseñados para ser transportados por la vía pública. Los cofres de doble uso, por su parte, pueden llenarse con combustible y depositarse en un almacenamiento provisional hasta el momento de su transporte al almacén final o la planta de reprocesamiento, sin necesidad de manipulación ni embalaje adicionales, lo que los convierte en una de las opciones más atractivas para los países en los que el combustible gastado se transporta por la vía pública.

P: ¿Qué papel desempeña el OIEA en el diseño y la utilización de los cofres de doble uso?

R: El diseño de los cofres de doble uso depende del tipo de instalación de almacenamiento y de su ubicación, por lo que no es sencillo definir requisitos concretos que se ajusten a todos los cofres de este tipo que se usan en todo el mundo sin tomar en cuenta estas diferencias. El OIEA ha establecido requisitos de seguridad en relación con el transporte de los cofres de doble uso y está facultado para armonizar los distintos requisitos en materia de almacenamiento que cada país ha fijado en el caso de estos cofres. De este modo, cuando los países comienzan a producir energía nuclear, pueden recurrir a los documentos de apoyo del OIEA para determinar si les conviene utilizar cofres de doble uso y cómo diseñarlos y emplearlos para gestionar el combustible gastado.

Además, el OIEA coordina actividades de investigación sobre cómo optimizar el diseño y la utilización de los cofres de doble uso. Por ejemplo, una de las cuestiones examinadas en las reuniones del OIEA está relacionada con el envejecimiento del combustible almacenado en seco. Por lo general, aunque los cofres de doble uso se diseñan para poder ser utilizados al menos durante 40 o 50 años, actualmente se está analizando la posibilidad de emplearlos durante 100 años o incluso más. Para ello podría ser necesario introducir cambios en los diseños actuales o diseñar nuevos cofres de doble uso a fin de disminuir las posibles repercusiones en ellos del almacenamiento a largo plazo y garantizar que sigan cumpliendo unas normas de seguridad estrictas, tanto si se utilizan para el transporte como para el almacenamiento.

P: ¿Qué depara el futuro a los cofres de doble uso?

R: Debido a que las centrales nucleares no dejan de evolucionar, los encargados de diseñar estos cofres tratan constantemente de mejorar sus diseños. Conforme aumenta el período de explotación de las centrales nucleares, también lo hace el volumen de combustible gastado que se genera, de modo que hay que optimizar el diseño de los cofres de doble uso para maximizar el combustible que pueden albergar. Esto significa recurrir a nuevos materiales para poder almacenar el combustible durante más tiempo y gestionar mayores cargas térmicas, ya que las centrales nucleares utilizan más combustible enriquecido. En este sentido, también cabe la posibilidad de que los nuevos diseños sean más simples, lo que haría que su fabricación fuera más sencilla y económica, sin por ello dejar de cumplir todos los requisitos en materia de transporte y almacenamiento.

Algunos países han optado por eliminar gradualmente su producción de energía nuclear, y la generación actual de expertos se jubilará tarde o temprano. Es posible que el interés de la generación más joven por trabajar en esta industria también disminuya, pero es innegable que seguiremos necesitando personal de cara al futuro; ahí es donde el OIEA puede desempeñar de veras una función esencial organizando cursos de aprendizaje electrónico e impartiendo capacitación para crear conocimientos.

Cofres de doble uso en la instalación de almacenamiento de ZWILAG, en Suiza.

(Fotografía: ZWILAG)



Lecciones de mi pasado

Lo que más de 28 años trabajando en el ciclo del combustible nuclear me han enseñado sobre sistemas, la gestión del conocimiento y la explotación de instalaciones nucleares

Susan Y. Pickering

El tema de la Conferencia Internacional del OIEA de 2019 sobre Gestión del Combustible Gastado de Reactores Nucleares de Potencia es “Lecciones del Pasado, Opciones para el Futuro”. Se pueden extraer lecciones importantes de nuestra experiencia colectiva en el ámbito de la energía nuclear, tanto si nuestro programa de energía nucleoelectrónica está consolidado como si es nuevo, y la conferencia proporciona un marco ideal para compartirlas.

Para que tengan éxito, los programas de energía nuclear requieren mucho tiempo, así como recursos, y traen consigo muchos desafíos de carácter técnico y no técnico. Trabajé más de 28 años en el ciclo del combustible nuclear y durante ese tiempo afronté muchos desafíos y extraje muchísimas lecciones. Me gustaría compartir algunas observaciones e ideas al respecto.

Los sistemas de energía nuclear son complejos e integrados. Por ejemplo, las instalaciones de disposición final son sistemas de contención de barreras múltiples compuestos por el cuerpo del desecho, el contenedor, el relleno y la roca hospedante, y el rendimiento de cada componente tiene un efecto en los demás. ¿De qué manera afectarán las decisiones de almacenamiento que se toman hoy a las opciones de disposición final en el futuro? ¿Podría un contenedor de combustible gastado excluir la utilización de una determinada modalidad de transporte o un concepto/emplazamiento de disposición final? Para analizar estos sistemas tenemos que aplicar un enfoque “de principio a fin”.

La vida de las instalaciones nucleares se puede prolongar durante varios decenios, tiempo durante el cual se plantearán preguntas que habrán de responder personas que no se encargaron del trabajo inicial y que, tal vez, ni siquiera habían nacido cuando se culminó dicho trabajo. Por eso conviene poner en marcha lo antes posible un programa de garantía de la calidad (GC) y de gestión del conocimiento.

Los problemas en las instalaciones nucleares se pueden atribuir a menudo a errores de las personas, las piezas o los procedimientos, lo que también se conoce como las tres P. Las personas que ocupan puestos de liderazgo tienen mucha influencia en las tres P. Un programa sólido de GC y gestión del conocimiento incorporará controles a fin de fortalecerlas. Dicho programa: 1) proporcionará pruebas objetivas de las cualificaciones del personal, 2) brindará un proceso para resolver las diferencias de opinión profesional, 3) garantizará

la adecuación del equipo y las piezas para el uso previsto, 4) mejorará la coherencia definiendo los procesos de trabajo, 5) aumentará la credibilidad y la justificación de las tareas técnicas, 6) facilitará una gestión del conocimiento durante toda la ejecución del proyecto, y 7) aportará ideas sobre los problemas del proyecto y cómo solucionarlos. Un programa de GC y gestión del conocimiento bien concebido y debidamente implementado es un factor decisivo para el éxito.

En mi opinión, un programa de GC y gestión del conocimiento debe preservar dos categorías amplias de información, a saber: la información definida según las normas tradicionales, por ejemplo los registros de GC, y la información no definida según dichas normas, por ejemplo la lógica que rige las decisiones clave. Muchas veces no se da importancia a esta última categoría, a pesar de que es fundamental para defender una instalación nuclear cuando surgen problemas. Por ejemplo, ¿queda constancia en la instalación nuclear de cómo se generaron los resultados y las conclusiones de las actividades esenciales? ¿Se pueden reproducir esos resultados y conclusiones?

Los sistemas nucleares se suelen percibir como un tema polémico. Hay muchas partes interesadas, a menudo con opiniones contrapuestas, que pueden ser fuente de conflicto y cuya incidencia hay que tener en cuenta ya que pueden influir en los responsables de la formulación de políticas y la toma de decisiones. Por lo general, las partes interesadas quieren que haya colaboración frecuente, transparencia y desean tener influencia. La relación entre las instalaciones nucleares y las partes interesadas en ellas es importante, y se deben asignar recursos a mantenerla. La colaboración con el público, las partes interesadas y los gobiernos locales aumenta las probabilidades de éxito.



Susan Y. Pickering, Directora Emérita de los Laboratorios Nacionales Sandia, tiene más de 28 años de experiencia en investigación y desarrollo en el ámbito nuclear en dichos laboratorios.



Piscina de combustible gastado de la unidad 2 de la central nuclear de Brunswick (Estados Unidos de América).

(Fotografía: Comisión Reguladora Nuclear, Estados Unidos de América)

Resulta difícil mantener un nivel elevado de excelencia operacional durante la prolongada vida de una instalación nuclear, y la presión para reducir los costos puede llevar a adoptar decisiones poco prudentes. Las rotaciones de personal y los cambios organizativos pueden dar lugar a la pérdida de conocimientos y, con el tiempo, podría haber un aumento de la autocomplacencia. Las instalaciones envejecen y eso puede afectar negativamente a su fiabilidad. Y con el paso de los años pueden surgir vulnerabilidades nuevas e imprevistas, por ejemplo la ciberseguridad.

Para gestionar adecuadamente un programa nuclear es indispensable comprender los riesgos. Los accidentes que se pueden producir en una instalación nuclear se suelen clasificar como “sucesos de baja probabilidad y graves consecuencias”. Aunque las estimaciones sobre la frecuencia de accidentes son extremadamente bajas, las consecuencias podrían ser significativas, costosas y duraderas. Los sistemas son complejos y para asegurar la gestión adecuada de los riesgos es preciso recurrir a conocimientos científicos avalados e ingeniería sofisticada. Un factor importante para el éxito es que el patrocinador público, el organismo regulador y el grupo encargado de ejecutar el proyecto cuenten con un liderazgo técnicamente competente.

Una herramienta importante a disposición de los líderes son los exámenes independientes, que pueden llevar a cabo homólogos o ejecutarse por medio de evaluaciones independientes. El OIEA ofrece muchos tipos de examen. En todos ellos, los examinadores deben estar cualificados y gozar de independencia respecto de la labor objeto del examen. Todos somos humanos y cometemos errores. Los dirigentes sabios recurren a los exámenes independientes en los momentos críticos y en los que hay que tomar decisiones para detectar los problemas cuando tienen poco efecto y se pueden aplicar soluciones de manera poco costosa.

Los líderes en todos los niveles de una organización deben adoptar comportamientos que promuevan una sólida cultura de la seguridad nuclear. Deben demostrar, todos los días y en todas las situaciones, su compromiso con la seguridad, premiar los comportamientos positivos y sancionar los negativos. Han de aceptar que habrá sorpresas y estar preparados para sucesos normales y sucesos que no lo sean. Asimismo, deben comprender la incertidumbre, los riesgos, los márgenes, la defensa en profundidad y la resiliencia. Las personas competentes son el factor más importante para lograr que una cultura de la seguridad sea sólida. Como dijo el almirante H.G. Rickover, padre de la seguridad nuclear en los Estados Unidos de América, “las reglas no sustituyen al pensamiento racional”.

Del laboratorio al campo: científicos indonesios desarrollan cultivos nuevos para los agricultores gracias a la ciencia nuclear



Investigadores de la BATAN celebran los buenos resultados de las variedades de arroz desarrolladas mediante irradiación. (Fotografía: Agencia Nacional de Energía Nuclear (BATAN))

En los últimos años los agricultores de Indonesia han cultivado arroz en cantidad suficiente para más de 20 millones de personas utilizando plantas desarrolladas por medio del programa nacional de fitomejoramiento por inducción de mutaciones, que echó a andar en 1997 a través de la colaboración con el OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO). Desde entonces, el programa ha evolucionado hasta transformarse en una red de alianzas global que acerca los resultados de investigaciones científicas en las que se emplean técnicas nucleares al mundo agrícola.

Según el Sr. Suryantoro, Vicepresidente de la Agencia Nacional de Energía Nuclear (BATAN) de Indonesia, “en nuestro país, la tecnología nuclear se ha utilizado en muchos ámbitos de la vida, entre ellos la agricultura. Por medio de la investigación en ingeniería en materia de mutación radioinducida, la BATAN ha potenciado la calidad de las variedades de los cultivos locales con el fin de que la comunidad pueda utilizar ampliamente las semillas nuevas y mejoradas”.

En 1997, cuando se inició el primer proyecto de cooperación sobre fitomejoramiento con la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, científicos de los institutos de investigación de la BATAN recibieron equipos de tecnología punta, capacitación amplia en tecnologías nucleares y apoyo de expertos por medio de proyectos coordinados de investigación y proyectos de cooperación técnica del OIEA. De esta forma, se sentaron las bases del programa de

fitomejoramiento por inducción de mutaciones de Indonesia.

Desde entonces se han desarrollado, por medio del programa, más de 35 nuevas variedades de cultivos, en particular de soja y de arroz, que se cultivan mediante irradiación y se seleccionan en función de las características mejoradas que presentan con respecto a otras variedades locales, por ejemplo mayor rendimiento, menor tiempo de cultivo y resistencia a las enfermedades y los factores de perturbación relacionados con el cambio climático (véase Fitomejoramiento por inducción de mutaciones). Una vez listas, las semillas de estos nuevos cultivos se multiplican y se ponen a disposición de los agricultores.

A. Sidik Tanoyo, funcionario del Ministerio de Agricultura de Java Oriental, explica que “es importante producir más semillas para extender la superficie de cultivo pues ello ayudará a que aumente la productividad y los ingresos de los agricultores”.

Con el fin de contribuir a garantizar el uso generalizado de estas nuevas variedades de cultivo, el programa ha crecido hasta transformarse en una red de alianzas global que está allanando el camino para el cultivo a gran escala. El modelo se basa en la colaboración entre institutos de investigación, ministerios, organismos gubernamentales, empresas productoras de semillas, cooperativas de agricultores, partes interesadas del mercado y grupos exportadores. Estas alianzas abarcan toda la cadena de suministro, desde el desarrollo y la multiplicación de las semillas hasta la distribución y el cultivo en los campos.

Totti Tjiptosumirat, Jefe del Centro de Aplicación de la Tecnología de los Isótopos y la Radiación de la BATAN, señala que “el programa, en el que participan muchos ministerios e instituciones nacionales y tres organizaciones internacionales, está diseñado para que funcione de manera jerárquica. En el escalafón superior se encuentra la BATAN, que se encarga de desarrollar semillas superiores y, a continuación, están el Ministerio de Agricultura, que distribuye las semillas a los productores, y el Ministerio de Industria, que transfiere la innovación a las pequeñas y medianas empresas o a las empresas emergentes”.

Aumento del cultivo de arroz en todo el país

De las 23 nuevas variedades de arroz de la BATAN, 3 ya se están cultivando de forma generalizada en varias regiones del país. Estas plantas de arroz, denominadas Bestari, Inpari Sidenuk y Mustaban, se seleccionaron porque pueden producir como media más de un 150 % más de arroz en menos tiempo que otras variedades locales. Además, son más resistentes a los cambios en el clima y a enfermedades e insectos.

Hamid, un productor de semillas de Serang, en la provincia de Bantén, afirma que “en mi zona hay saltahojas por todas partes y, cuando vi estas buenas plantas de Mustaban, di gracias a Dios porque no se ven afectadas por este insecto”. Muy cerca, en la población de Kaseman, Tatang, otro productor de semillas, añade que “no hizo falta usar insecticidas. Cuando florecieron las plantas de Mustaban no había ni un solo chinche del arroz”.

Los expertos de la BATAN prevén continuar llevando a cabo actividades de investigación y desarrollo para aumentar el número de nuevas variedades vegetales e incorporar la información aportada por los agricultores a fin de seguir perfeccionando y mejorando el rendimiento de las plantas. La investigación procurará asimismo optimizar el cultivo de las plantas mediante prácticas agrícolas locales, por ejemplo los sistemas de abono, y en distintas condiciones ambientales, como pueden ser los suelos locales, los vientos fuertes y las lluvias intensas.

Profesionales del ámbito nuclear participantes en el curso del OIEA sobre liderazgo en pro de la seguridad comparten cómo promover una sólida cultura de la seguridad



Profesionales en el inicio o a mediados de su carrera participan en ejercicios en grupo en el curso del OIEA sobre liderazgo en pro de la seguridad para formarse en esta esfera. (Fotografía: J. Gil Martín/OIEA)

El liderazgo en pro de la seguridad nuclear y el desarrollo de una sólida cultura de la seguridad en las organizaciones requieren crear espacios que permitan a los profesionales nucleares de distintas procedencias mantener debates abiertos y sustanciales, afirmaron los participantes del Curso de Liderazgo en pro de la Seguridad Nuclear y Radiológica, celebrado en Ankara (Turquía) del 22 de abril al 3 de mayo de 2019.

El liderazgo en pro de la seguridad es particularmente importante en entornos de trabajo nucleares y radiológicos, tanto en situaciones ordinarias como de emergencia, a causa de las complejidades que los caracterizan. El curso del OIEA sobre liderazgo en pro de la seguridad ayuda a que profesionales del ámbito nuclear y de las radiaciones que se encuentran en el inicio o a mediados de su carrera desarrollen las aptitudes necesarias para liderar en pro de la seguridad en el transcurso de su carrera.

En el curso participaron, en total, 29 profesionales de órganos reguladores, explotadores nucleares y organizaciones técnicas de 14 países. Los asistentes analizaron estudios de casos, realizaron ejercicios, participaron en debates y escucharon las presentaciones de expertos invitados sobre seguridad tecnológica nuclear y seguridad radiológica, incluida la preparación para emergencias. El curso se celebró en el marco de un proyecto de cooperación técnica del OIEA sobre promoción de las actividades de creación de capacidad en

las organizaciones de seguridad nuclear y radiológica europeas en pro de la explotación segura de las instalaciones.

Los participantes declararon que el curso les brindó un entorno para debatir sobre la creación de liderazgo en pro de la seguridad y les proporcionó inspiración y estrategias para aplicar dicho liderazgo en sus instituciones.

Nuevas formas de comunicación en el seno del equipo

Una de las participantes en el curso, Milijana Steljic, Jefa de la Dependencia de Cooperación Internacional y Gestión de Proyectos de la Dirección de Seguridad Radiológica y de Seguridad Nuclear Tecnológica y Física de Serbia, destacó la importancia del comportamiento personal y de la utilización de determinados recursos para crear equipos sólidos a fin de promover la seguridad.

“El curso me animó a pensar de un modo distinto, especialmente sobre mi papel como líder y de qué manera busco el equilibrio entre mis resultados profesionales y la capacidad para inspirar a los integrantes de mi equipo por medio de mis propios actos”, declaró la Sra. Steljic. “Gracias a la mezcla de presentaciones, clases, estudios de casos, trabajo en grupo, actividades lúdicas y visitas técnicas, el curso nos permitió tomar conciencia de nuestro comportamiento como líderes y descubrir un conjunto de recursos para líderes que podemos emplear a diario”.

“Quiero usar ejercicios de creación de grupos y los debates periódicos sobre estudios de casos con los miembros de mi equipo y utilizar estos nuevos recursos para líderes a fin de evaluar el desempeño del grupo”, indicó. “Lo ideal sería exportar este concepto a toda la organización, ya que me gustaría que existiera una comunicación más abierta que permita crear una sólida cultura de la seguridad en nuestra organización”.

Promover un compromiso con el liderazgo entre todos los integrantes del equipo

Otra de las participantes, Aysel Hasanova, Asesora Superior del Departamento de Normas y Legislación Técnicas del Organismo Estatal para la Regulación de la Actividad Nuclear y Radiológica de Azerbaiyán, resaltó la importancia de unos programas adecuados como fuente de inspiración para los profesionales de la seguridad nuclear y dijo que todos los integrantes de un equipo, no solo los directivos, pueden ser líderes en pro de la seguridad.

“El comportamiento de los líderes influye enormemente sobre la seguridad. Liderar en pro de la seguridad significa querer mejorar constantemente y ser un ejemplo para todos los integrantes del propio equipo, independientemente de si la persona en cuestión ocupa un puesto directivo o no”, estimó la Sra. Hasanova. “Decidí participar en el curso porque trabajo para promover una sólida cultura de la seguridad y la transferencia de conocimientos por parte de profesionales experimentados, fomentando la participación de jóvenes y mujeres profesionales, y tengo el compromiso de incorporar nuevas herramientas para el desarrollo de recursos humanos en todo el país”.

“Antes creía que se nacía líder; sin embargo, ahora estoy convencida de que cualquier persona puede descubrir que posee aptitudes de liderazgo y desarrollarlas”, señaló. “Aunque nada se construye en un solo día, debemos tener unos objetivos claros desde el principio y comprometernos a trabajar para lograrlos”.

Nathalie Mikhailova

Viet Nam mejora la calidad de los alimentos mediante la irradiación



En la imagen pueden verse alimentos siendo irradiados con haces de electrones en el VINAGAMMA, que también cuenta con un irradiador gamma.

(Fotografía: E. Marais/OIEA)

Cada mañana cientos de cajas con alimentos congelados de origen marino, frutas y hortalizas desecadas, medicamentos tradicionales orientales y alimentos naturales aguardan en un almacén de Ciudad Ho Chi Minh (Viet Nam) su turno para ser sometidas, en el marco de un programa de irradiación de alimentos establecido con ayuda del OIEA a lo largo de los últimos veinte años, a un proceso similar al control de seguridad de los aeropuertos, con la diferencia de que se emplean haces de fotones o electrones de mayor intensidad.

Dependiendo de la dosis, la irradiación de alimentos garantiza que los tubérculos comestibles y las frutas no germinen ni maduren antes de tiempo, destruye los parásitos, desinfecta las especias, acaba con la salmonela y mata los hongos que podrían deteriorar los productos cárnicos y los alimentos de origen marino.

Dicho proceso se puso en marcha por primera vez en Viet Nam en 1999 con la ayuda del OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) y, desde entonces, se ha abierto un gran mercado para los productos irradiados, que han aumentado considerablemente la capacidad de las empresas de exportar sus productos alimenticios. La irradiación de alimentos se ha convertido en un pilar de la industria alimentaria nacional

y contribuye de manera notable a la competitividad agropecuaria del país.

“En 1999 irradiábamos 259 toneladas de alimentos anuales, que han pasado a ser 14 000 toneladas en 2017”, explica Cao Vãn Chung, Jefe del Departamento de Haces de Electrones del Centro de Investigación y Desarrollo para la Tecnología de las Radiaciones de Viet Nam (VINAGAMMA). “Esto demuestra un auténtico auge de la demanda de nuestro trabajo. En la actualidad somos una de las principales instalaciones del país en el ámbito de la tecnología de la radiación, y pioneros en la irradiación de alimentos”.

Irradiación gamma e irradiación con haces de electrones

Este aumento considerable ha sido posible gracias a la implantación de dos sistemas de irradiación: un irradiador gamma, puesto en marcha en 1999, que utiliza energía de ionización procedente de una fuente de radiación que se encuentra protegida en una sala de hormigón, y un irradiador de haces de electrones, utilizado desde 2013. Este tipo de irradiador, en vez de una fuente radiactiva, utiliza una corriente de electrones con mucha carga producidos en un equipo especializado como, por ejemplo, un acelerador lineal de electrones. Los alimentos no entran nunca en contacto con el material

radiactivo, y la irradiación preserva su calidad y aumenta su inocuidad sin dejar radiactividad residual.

Como afirma el Sr. Chung, si bien el proceso de irradiación es el mismo en ambos sistemas, cada uno de ellos tiene ventajas diferentes y complementarias. El irradiador gamma se utiliza con grandes cajas de aluminio, con capacidad para contener productos de diversos tamaños, que avanzan suspendidas de un sistema transportador monorraíl y se exponen a la fuente radiactiva que se encuentra en la sala de irradiación. Los productos empaquetados han de someterse dos veces a este proceso para garantizar que toda su superficie haya sido irradiada.

Por el contrario, el irradiador de haces de electrones, al tener haces en ambos lados, es tres veces más rápido que el irradiador gamma, ya que todas las caras del producto pueden irradiarse de una sola vez. No obstante, su tamaño es reducido y admite como máximo una caja de dimensiones 60×30×50 cm y 15 kg de peso, de modo que para productos más grandes y pesados ha de utilizarse la irradiación gamma. Los aparatos funcionan conjuntamente y sin interrupción, salvo durante el período del Año Nuevo vietnamita.

Antes de que el irradiador gamma y el irradiador de haces de electrones empezaran a utilizarse, para evitar que, entre otros, los alimentos de origen marino, las frutas y las hortalizas se deterioraran se recurría a métodos tradicionales como el enlatado, la refrigeración y la congelación, y a los conservantes químicos, que, al ser menos eficaces, hacían más difícil que el fabricante pudiera exportar sus productos.

Los aparatos de irradiación se adquirieron con ayuda del programa de cooperación técnica del OIEA, en el marco del cual se proporcionó también capacitación y asesoramiento especializado al personal. Viet Nam es uno de los 40 países a los que el OIEA presta apoyo en este ámbito.

Mayor uso de la tecnología de la radiación

El VINAGAMMA ha pasado de contar con apenas 20 trabajadores en sus comienzos en 1999 a los 79 con que cuenta en la actualidad. Aparte de la

irradiación de alimentos, ofrece servicios de radioesterilización de productos médicos y alimentos pasteurizados, y comercializa sus productos de investigación y desarrollo, como protectores vegetales empleados en la

agricultura y nanogeles de oro y plata empleados en la medicina.

El VINAGAMMA también lleva a cabo actividades de investigación y desarrollo e imparte capacitación en materia de

tecnología de la radiación. Asimismo, colabora con asociados internacionales para encontrar formas de seguir mejorando la tecnología de la irradiación.

Estelle Marais

El OIEA desarrolla un nuevo método para el seguimiento de las fuentes de contaminación del agua



El exceso de nitrato en los lagos, los mares y los ríos puede aumentar el crecimiento de algas que, a su vez, pueden provocar floraciones tóxicas de tonos azulados y verdosos. En colaboración con la Universidad de Massachusetts Dartmouth, el OIEA ha desarrollado un método innovador para rastrear el origen de la contaminación por nitratos en el agua. (Fotografía: L. Wassenaar, OIEA)

En colaboración con la Universidad de Massachusetts, el OIEA ha desarrollado un método innovador para rastrear el origen de la contaminación por nitrógeno en los lagos, los mares y los ríos. El instrumento analítico, de base nuclear, ofrece a las iniciativas de prevención y rehabilitación una manera más económica, segura y rápida de determinar si el exceso de compuestos de nitrógeno en el agua procede de la agricultura, las redes de alcantarillado o la industria. El nitrógeno, un elemento esencial y abundante en la Tierra, es un importante fertilizante que se utiliza de manera generalizada desde mediados del siglo XX. “Uno de los principales problemas mundiales de la calidad del agua es que hemos sobrefertilizado nuestras zonas agrícolas durante décadas, tanto con estiércol como con fertilizantes sintéticos”, afirma Leonard Wassenaar, Jefe de la Sección de Hidrología Isotópica del OIEA. “Todos esos nutrientes, en especial las formas de nitrógeno como los nitratos, se filtran en las aguas subterráneas y acaban en los ríos, los lagos y los cursos de agua”.

Los niveles excesivos de nitratos favorecen el crecimiento de algas que pueden provocar floraciones tóxicas en

la superficie de los lagos. A su vez, esas floraciones pueden terminar en el fondo de los lagos, servir de alimento a las bacterias y crear lo que se conoce como “zonas muertas”. “Actualmente se ven más muertes de peces, casos en que miles de ellos salen flotando a la superficie porque el fondo del lago, su hábitat natural, se ha quedado sin oxígeno debido a esa lluvia de material orgánico”, dice Wassenaar.

Eliminar los nitratos del agua resulta muy difícil y caro. Por esa razón, se necesitan instrumentos para conocer las fuentes de nitrógeno y su curso a fin de orientar de manera más adecuada las medidas de protección y rehabilitación del agua.

El nuevo método, publicado en la revista *Rapid Communications in Mass Spectrometry*, mide la cantidad y la proporción de isótopos estables de nitrato en el agua. El nitrógeno tiene dos isótopos estables, o variantes de sus átomos, que difieren en el peso. Dado que la diferencia de peso no es la misma, por ejemplo, en los excrementos humanos o en los fertilizantes, se pueden utilizar los isótopos para determinar cuál es la fuente.

“Los instrumentos isotópicos son muy eficaces para medir los nutrientes en el agua”, dice Wassenaar, “aunque su

uso siempre haya presentado grandes dificultades debido a su costo y a su accesibilidad. La nueva técnica permite a los científicos analizar más muestras, a un menor costo, para estudios a gran escala. Creo que va a marcar un antes y un después”.

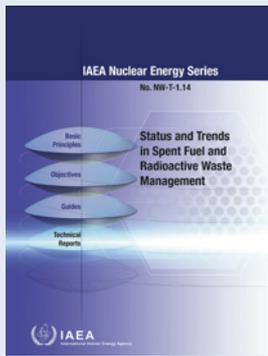
El nuevo método utiliza un tipo de cloruro de titanio —una sal— para convertir el nitrato de una muestra de agua en un gas de óxido nitroso. A partir de ese gas, se pueden analizar los isótopos con instrumentos como espectrómetros de masas o láseres. Los métodos actuales emplean bacterias modificadas genéticamente o metales de gran toxicidad como el cadmio para llevar a cabo la conversión a ácido nitroso, lo que conlleva que su uso se vea limitado a unos pocos laboratorios especializados por su complejidad y su costo.

“Es un método relativamente sencillo para lo que hasta ahora era un proceso caro y complejo”, afirma el colaborador Mark Altabet, Profesor de Ciencias de los Estuarios y de los Océanos de la Facultad de Ciencias y Tecnologías Marinas de la Universidad de Massachusetts Dartmouth. Los análisis de las muestras son entre cinco y diez veces más baratos que antes, y las muestras se preparan en cuestión de minutos.

Altabet tiene previsto utilizar el método para estudiar los efectos de las medidas de lucha contra la contaminación en Long Island Sound, estuario de la costa oriental de los Estados Unidos que se vio gravemente afectado por las cantidades excesivas de nitratos.

El OIEA promueve la aplicación de las técnicas nucleares e isotópicas para determinar la fuente de agua, la edad, la calidad y la sostenibilidad a fin de ayudar a los países a mejorar su gestión de este recurso vital.

Luciana Viegas

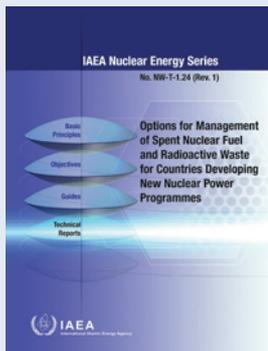


Status and Trends in Spent Fuel and Radioactive Waste Management

En esta publicación se ofrece una visión general de la situación de la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado en relación con los inventarios, los programas, las prácticas actuales, las tecnologías y las tendencias. Además, incluye un análisis de las disposiciones y los programas nacionales relativos a la gestión de los desechos radiactivos y del combustible gastado, un panorama de los inventarios actuales de desechos y combustible gastado y estimaciones de las cifras futuras. Asimismo, se analizan las tendencias internacionales y nacionales en esas esferas.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-T-1.14; ISBN: 978-92-0-108417-0; edición en inglés; 39,00 euros; 2018

www.iaea.org/publications/11173/status-and-trends

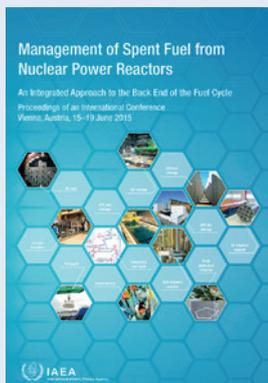


Options for Management of Spent Fuel and Radioactive Waste for Countries Developing New Nuclear Power Programmes

Esta publicación ofrece un resumen sucinto de las principales cuestiones relacionadas con el desarrollo de un sistema sólido de gestión de los desechos radiactivos y del combustible nuclear gastado. Con ella se pretende informar a los países con programas nucleoelectrónicos de pequeña envergadura o de reciente inicio sobre los desafíos en materia de gestión de los desechos del reactor y del combustible gastado que se plantean durante la explotación y la clausura de las centrales nucleares, así como describir las alternativas actuales y posibles en un futuro a ese respecto.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NW-T-1.24 (Rev. 1); ISBN: 978-92-0-103118-1; edición en inglés; 32,00 euros; 2018

www.iaea.org/publications/12255/options-for-management

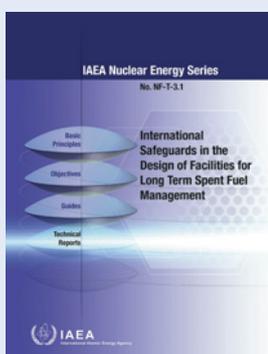


Management of Spent Fuel from Nuclear Power Reactors: An Integrated Approach to the Back End of the Fuel Cycle

Esta publicación presenta los resultados de la Conferencia Internacional del OIEA sobre Gestión del Combustible Gastado de Reactores Nucleares de Potencia, celebrada en 2015, en la que se intercambiaron y se examinaron los logros y las enseñanzas extraídas en relación con la parte final del ciclo del combustible nuclear y los desafíos correspondientes. Los objetivos principales de la conferencia fueron concienciar sobre el impacto que los progresos alcanzados en la generación de energía y en la disponibilidad de medidas de disposición final pueden tener en la gestión del combustible gastado, evaluar los avances realizados en la gestión del combustible gastado de reactores de potencia desde que se iniciaron las conferencias del OIEA sobre este tema y determinar las cuestiones pendientes y los desafíos que se prevén en el futuro.

Actas de la Conferencia Internacional; ISBN: 978-92-0-101819-9; edición en inglés; 28,00 euros; 2019

www.iaea.org/publications/13488/management-of-spent-fuel



International Safeguards in the Design of Facilities for Long Term Spent Fuel Management

La publicación está destinada a diseñadores y explotadores de instalaciones de gestión a largo plazo del combustible gastado. Los proveedores, las autoridades nacionales y los financiadores también pueden sacar provecho de la información facilitada. Este texto complementa las consideraciones generales que se abordan en la publicación *International Safeguards in Nuclear Facility Design and Construction*, *Colección de Energía Nuclear del OIEA* N° NP-T-2.8.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NF-T-3.1; ISBN: 978-92-0-100717-9; edición en inglés; 36,00 euros; 2018

www.iaea.org/publications/10806/international-safeguards

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

Dependencia de Mercadotecnia y Venta

Organismo Internacional de Energía Atómica, Vienna International Centre
P.O. Box 100, A-1400 Viena (Austria)

Correo electrónico: sales.publications@iaea.org

Lea este y otros números del *Boletín del OIEA* en línea en
www.iaea.org/bulletin

Para más información sobre el OIEA y su labor, visite
www.iaea.org

o síganos en



Conferencia Internacional sobre el

Cambio Climático y el Papel de la Energía Nucleoeléctrica

7 a 11 de octubre de 2019, Viena (Austria)



Organizada por el



IAEA

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

#Atoms4Climate

CN-275