

IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Noviembre de 2017



Energía nucleoelectrónica para un futuro sin contaminación energética



China: el productor de energía nucleoelectrónica que más rápidamente está creciendo del mundo pág. 12

Parte final resuelta: la solución de Finlandia para la disposición final del combustible nuclear gastado pág. 8

Los Emiratos Árabes Unidos apuestan por la energía nuclear: entrevista al Embajador Sr. Hamad Alkaabi pág. 10



IAEA

60 años

Átomos para la paz y el desarrollo

También contiene:
Noticias del OIEA



EL BOLETÍN DEL OIEA
es una publicación de la
Oficina de Información
al Público y Comunicación (OPIC)
Organismo Internacional de Energía Atómica
PO Box 100, 1400 Viena, Austria
Teléfono: (+43 1) 2600 21270
Fax: (+43 1) 2600 29610
iaebulletin@iaea.org

Redacción: Miklos Gaspar
Directora editorial: May Fawaz-Huber
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.

Portada: Starstruck/OIEA

Síguenos en:



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

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

El OIEA, que, además, proporciona una plataforma mundial para 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 también se centra en contribuir a que se reduzca al mínimo el riesgo de que los materiales nucleares y otros materiales radiactivos caigan en manos de terroristas y delincuentes o de que las instalaciones nucleares sean objeto de actos dolosos.

Las normas de seguridad del OIEA proporcionan un conjunto de principios fundamentales de seguridad y reflejan el consenso internacional sobre lo que constituye un alto grado de seguridad con respecto a la protección de las personas y el medio ambiente frente a los efectos nocivos de la radiación ionizante. Esas normas se han elaborado para todos los tipos de instalaciones y actividades nucleares con fines pacíficos, incluida la clausura.

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 de otros acuerdos de no proliferación.

La labor del OIEA es polifacética y se lleva a cabo con la participación de un amplio espectro de asociados a escala nacional, regional e internacional. Los programas y presupuestos del OIEA se establecen mediante decisiones de sus órganos rectores, a saber, la Junta de Gobernadores, integrada 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).

Energía limpia para un futuro sostenible: la importancia de la energía nucleoelectrica

Yukiya Amano, Director General del OIEA

La energía es el motor del desarrollo y la prosperidad. Todos los países necesitan disponer de suficiente energía para impulsar el crecimiento económico al tiempo que tratan de mitigar los efectos del cambio climático.

Las fuentes de energía renovables como la eólica y la solar tendrán una importante función en el futuro. Asimismo, el uso de energía nucleoelectrica deberá aumentar para proporcionar un suministro eléctrico mínimo constante. La energía nucleoelectrica, que es una de las tecnologías que permiten generar electricidad con menos emisiones de carbono, ayudará también a los países a cumplir el objetivo de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero.

La presente edición del *Boletín del OIEA*, publicada con motivo de la Conferencia Ministerial Internacional sobre la Energía Nucleoelectrica en el Siglo XXI, trata algunos de los temas más importantes relacionados con la energía nucleoelectrica y con el papel que esta desempeña en la contribución al desarrollo sostenible.

En ella se destaca la manera en que los explotadores de centrales nucleares de los Estados Unidos de América están intentando obtener la renovación de licencias para que el período de explotación supere los 60 años, la forma en que China está llevando a cabo la mayor ampliación de un programa nucleoelectrico realizada hasta la fecha, y la razón por la que los Emiratos Árabes Unidos han decidido iniciar un programa nucleoelectrico.

Las centrales nucleares precisan una importante inversión inicial de capital pero, una vez que están en marcha, su funcionamiento es relativamente económico. Examinamos el modo en que el Reino Unido financia la construcción de centrales nucleares para ilustrar cómo pueden gestionarse los riesgos financieros.

Se están llevando a cabo notables investigaciones sobre una nueva generación de reactores nucleares, que tendrán características de seguridad inherentes, serán más eficaces y generarán menos desechos. En la página 18 se analizan los

últimos avances en el ámbito de los reactores modulares pequeños.

La industria nuclear lleva más de medio siglo gestionando con éxito la disposición final de desechos. Docenas de instalaciones de desechos nucleares de actividad baja e intermedia están en funcionamiento en todo el mundo. En lo que respecta a la gestión a largo plazo de los desechos radiactivos de actividad alta y el combustible gastado, en los últimos años se han logrado grandes progresos, por ejemplo, la construcción en Finlandia del primer repositorio geológico profundo para combustible nuclear gastado, que probablemente empezará a funcionar a principios del próximo decenio.

En muchos países que consideran la opción de iniciar un programa nucleoelectrico, la aceptación pública sigue siendo un aspecto importante. En la página 6 se resumen las estrategias de Ghana y Kenya a este respecto. Es importante invertir en la juventud para subsanar las diferencias en materia de capacidades y mantener los programas nucleoelectricos en el futuro. Encontrará información sobre los programas que ha puesto en marcha el Reino Unido en este sentido.

Mujeres en el ámbito nuclear

En este número se incluye un apartado especial en el que se presenta a ocho mujeres excepcionales del ámbito nuclear. Tenemos el honor de mostrar sus logros y presentar sus opiniones.

Confío en que en los próximos decenios la energía nucleoelectrica contribuya cada vez más al desarrollo sostenible. El OIEA hará lo que le corresponda para ayudar a los países a utilizar de forma segura, eficaz y sostenible este extraordinario recurso.



(Fotografía: Expo 2017 de Astana)



(Fotografía: C. Brady/OIEA)



(Fotografía: ITER)

Prefacio

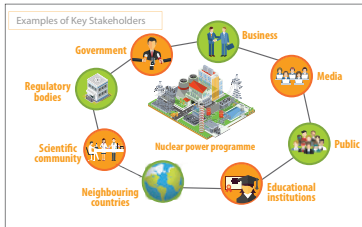


1 Energía limpia para un futuro sostenible: la importancia de la energía nucleoelectrica

Energía nucleoelectrica para un futuro sin contaminación energética



4 Explotación a largo plazo o cómo la vida operacional de las centrales nucleares estadounidenses podría ampliarse hasta los 80 años



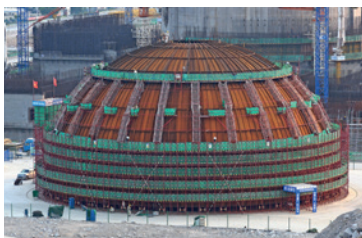
6 En defensa de la energía nucleoelectrica: razones por las que la participación de los interesados es importante



8 Parte final resuelta: la solución de Finlandia para la disposición final del combustible nuclear gastado



10 Los Emiratos Árabes Unidos apuestan por la energía nuclear: entrevista al Embajador Sr. Hamad Alkaabi



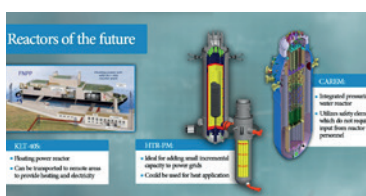
12 China: el productor de energía nucleoelectrica que más rápidamente está creciendo del mundo



14 Financiación y gestión de los riesgos de la energía nuclear: el modelo británico



16 Fomento de las carreras profesionales en el ámbito nuclear: la estrategia del Reino Unido para crear una fuerza de trabajo sostenible en la esfera nuclear



18 Los reactores de la próxima generación: instrumentos seguros y económicos para una energía sostenible

Panorama mundial

20 Los siete secretos para una energía nuclear barata

— Michael Shellenberger, Presidente, Environmental Progress

22 La innovación en la esfera nuclear es clave para garantizar un futuro energético sostenible

— William D. Magwood, IV, Director General, Agencia para la Energía Nuclear

24 Harmony — el futuro de la electricidad

— Agneta Rising, Directora General, Asociación Nuclear Mundial

Noticias del OIEA

26 La tecnología nuclear ayuda a Costa Rica a mejorar la inocuidad de los alimentos

27 Apoyo a la no proliferación nuclear: Ghana convierte un reactor de investigación para que utilice combustible de UPE en lugar de combustible de UME

28 Publicaciones del OIEA

Explotación a largo plazo o cómo la vida operacional de las centrales nucleares estadounidenses podría ampliarse hasta los 80 años

May Fawaz-Huber



La central nuclear de Surry fue la primera en comunicar a la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos su intención de solicitar una segunda renovación de la licencia.

(Fotografía: NEI)

En los últimos 20 años ha podido verse un creciente interés por ampliar la vida operacional de las centrales nucleares. Se trata de una opción menos costosa que construir una central nueva y, cuando tiene sentido desde el punto de vista económico, muchos explotadores de centrales en los Estados Unidos intentan obtener una renovación de la licencia. De este modo se evita la escasez de suministro y se contribuye a que el país reduzca las emisiones de carbono.

“En tanto que comunidad mundial, concedemos mucha importancia a cómo se produce la electricidad”, afirma Maria Korsnick, Presidenta y Directora Ejecutiva del Instituto de Energía Nuclear. “Si bien es posible obtenerla de una fuente intermitente, como la [energía] eólica y la solar, también se necesita un suministro energético mínimo ininterrumpido que respete el medio ambiente, y eso es lo que ofrece la energía nuclear”.

La Comisión Reguladora Nuclear (NRC) de los Estados Unidos expide licencias de explotación a las centrales nucleares por un máximo de 40 años y las renueva por 20 años más como máximo cada vez que recibe una solicitud al respecto, siempre que el explotador demuestre que los efectos del envejecimiento de determinadas estructuras y componentes de la central se gestionarán de manera adecuada.

Alrededor del 90 % de las centrales estadounidenses han obtenido una renovación de la licencia, con lo que su explotación se ha ampliado a 60 años, plazo que en el caso de muchas de ellas está a punto de agotarse. Si estas dejan de explotarse o no se sustituyen por centrales nuevas, descenderá

considerablemente el porcentaje de energía de origen nuclear, mientras que si se concediera una segunda renovación, se ampliaría la explotación de la central hasta los 80 años.

La energía nuclear representa el 20 % del suministro eléctrico en los Estados Unidos y más del 60 % de la electricidad sin emisiones de CO₂ generada en el país. Se prevé que para 2035 la demanda de electricidad aumente en más de un 30 %.

Para obtener la renovación de la licencia, la central debe facilitar a la NRC una evaluación de los aspectos técnicos relacionados con el envejecimiento de la central y demostrar cómo gestionaría en condiciones de seguridad cualquier problema. Esto comprende el examen de los metales, las soldaduras y las tuberías del sistema, el hormigón, los cables eléctricos y las vasijas de presión del reactor. Deben evaluarse también los posibles efectos en el medio ambiente suponiendo que la central esté en funcionamiento otros 20 años. La NRC verifica las evaluaciones mediante inspecciones y auditorías, y tarda entre 22 y 30 meses en examinar las solicitudes de renovación de licencias.

“Al principio, la NRC tardaba años en concluir estos exámenes”, explica la Sra. Korsnick, que añade que “ahora que se sabe más del proceso, este no llega a los dos años. En el caso de las segundas renovaciones es probable que la duración del proceso se reduzca a 18 meses”.

Si bien aún no se ha producido ninguna renovación de este tipo, tres centrales han manifestado ya su intención de solicitarla.

“Si se concede una segunda renovación y se permite la explotación de las centrales durante 80 años, la NRC podría ser testigo de un aumento del interés de otras compañías eléctricas”, afirma Allen Hiser, Asesor Técnico Superior de la NRC encargado de la gestión del envejecimiento en relación con la renovación de licencias. “En el 2000 ya pasó algo parecido cuando se renovaron las licencias iniciales”.

Afrontar las dificultades gubernamentales y del mercado

La mayor parte de las políticas gubernamentales de los Estados Unidos favorecen más a las energías renovables que a la energía nuclear y, según la Sra. Korsnick, el mercado no valora todas las cualidades de las centrales nucleares. En los últimos seis años, tres centrales han entrado en régimen de parada antes de que expirase su licencia inicial porque no generaban suficientes ingresos en el mercado actual. La Sra. Korsnick mantiene que han de mejorarse los mercados para que valoren los resultados derivados de utilizar la energía nuclear, por ejemplo, el aire puro, un suministro ininterrumpido de energía y un funcionamiento constante al menos durante 18 meses antes de tener que recargar el combustible. Si se reconocieran plenamente estos beneficios, se evitaría que otras centrales entrasen en régimen de parada antes de tiempo.

“Lo que queremos básicamente es una red eléctrica que cuente con una diversidad de tecnologías de generación [de electricidad] y que valore como corresponde las principales cualidades de cada tecnología y los beneficios que aportan a la sociedad”, añade la Sra. Korsnick.

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Maria Korsnick

Presidenta y Directora Ejecutiva del Instituto de Energía Nuclear (NEI)



Basándose en su formación en ingeniería, su experiencia práctica en la explotación de reactores y su gran conocimiento sobre políticas energéticas y cuestiones de reglamentación, la Sra. Korsnick quiere dar más a conocer las ventajas económicas y ambientales de la energía nuclear entre los

encargados de formular políticas y el público. Antes de trabajar en el NEI, fue vicepresidenta superior de operaciones en el noreste en Exelon y jefa de asuntos nucleares y directora ejecutiva en funciones en Constellation Energy Nuclear Group, donde inició su carrera en 1986 y, con el tiempo, fue desempeñando puestos de más responsabilidad, como ingeniera, explotadora, gerente, vicepresidenta del emplazamiento, vicepresidenta corporativa y jefa de asuntos nucleares.

“Estoy orgullosa de pertenecer desde hace más de diez años a Women in Nuclear, una organización que conforman más de 25 000 personas de 107 países. Sus miembros proceden de todos los ámbitos de la industria nuclear, a saber, grandes compañías eléctricas, empresas de diseño de reactores, universidades, laboratorios y organismos gubernamentales, y utilizan la pasión que sienten por esta industria para promover la ciencia y la tecnología nucleares.”

El Organismo y la explotación a largo plazo

El OIEA ha contado con el apoyo de la NRC en sus actividades de explotación a largo plazo. La NRC fue uno de los primeros en financiar el programa del OIEA Enseñanzas Genéricas Extraídas sobre Envejecimiento a Nivel Internacional (IGALL), en el que ha participado activamente. El programa toma como punto de partida la información técnica que figura en el *Informe genérico de lecciones aprendidas sobre envejecimiento* de la NRC, que se ha complementado con los datos que otros Estados Miembros del OIEA han aportado sobre sus centrales, entre otras cosas, información con respecto a los diseños de reactores de agua pesada a presión.

Los Estados Unidos de América han participado activamente en otras actividades del OIEA relacionadas con la explotación a largo plazo, como la elaboración de guías de seguridad sobre la gestión del envejecimiento y la explotación a largo plazo, y la presentación de talleres sobre la explotación a largo plazo para reguladores internacionales y centrales. Además, el país sigue aportando conocimientos especializados durante las misiones del OIEA de Aspectos de Seguridad de la Explotación a Largo Plazo (SALTO) que se llevan a cabo en Europa, Asia y en todo el continente americano.

En defensa de la energía nucleoelectrica: razones por las que la participación de los interesados es importante

Elisabeth Dyck

Una de las mayores dificultades a las que se enfrentan los programas nucleoelectricos es la de obtener el apoyo de los principales interesados, entre ellos el público, y mantenerlo. Lo mismo sucede en los países que están considerando la posibilidad de incluir la energía nucleoelectrica en su canasta de energía para asegurar la sostenibilidad energética y mejorar el desarrollo económico e industrial.

Iniciar un programa nucleoelectrico exige años de preparación y un compromiso nacional a largo plazo durante la concepción, la construcción, la explotación y, por último, la clausura de las instalaciones nucleares. Para ofrecer buenos argumentos a favor de la energía nucleoelectrica y lograr una aceptación pública duradera es fundamental que todas las partes interesadas participen en cada una de las etapas del proceso de planificación y durante el ciclo de vida de las instalaciones nucleares.

“Una comunicación transparente y fáctica con la sociedad en general contribuye a presentar y aceptar los programas nucleoelectricos, además de mejorar la seguridad”, afirma Mikhail Chudakov, Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Energía Nuclear.

La participación de los interesados es una de las 19 cuestiones sobre infraestructura que figuran en el enfoque de los hitos del OIEA, un documento con orientaciones estructuradas que utilizan los Estados Miembros para desarrollar la infraestructura de un

programa nucleoelectrico. El OIEA publica documentos de orientación y organiza debates sobre dificultades comunes y buenas prácticas a fin de facilitar el intercambio de conocimientos, experiencias y prácticas óptimas sobre cómo comunicar con todas las partes interesadas.

“La participación de los interesados no consiste solamente en fomentar las ventajas de la energía nucleoelectrica o explicar sus riesgos y complicaciones”, dice Brenda Pagannone, experta en participación de los interesados y presidenta de una reunión celebrada recientemente en el OIEA sobre participación de las partes interesadas e información pública. “Se trata de fomentar el diálogo y de tener en cuenta las funciones y aportaciones de todas las partes interesadas en el proceso de toma de decisiones”.

El ejemplo de Ghana

Ghana, por ejemplo, coopera con el OIEA para desarrollar un programa nucleoelectrico nacional. Ha creado una organización nacional, la Organización del Programa Nucleoelectrico de Ghana (GNPPO), para coordinar todas las actividades de preparación relativas al desarrollo de infraestructura nuclear y ha recibido una misión de Examen Integrado de la Infraestructura Nuclear del OIEA.

“Nos hemos dado cuenta de la dimensión nacional que tiene esta labor, que requiere la participación de un amplio espectro de partes interesadas”, explica Ben Nyarko, Presidente Adjunto de la GNPPO. “Hemos colaborado con



(Infografía: F. Nassif/OIEA)

partes interesadas desde el principio mismo del programa, lo que ha permitido a la GNPPO transmitir de forma eficaz las necesidades y las ventajas del programa al sector de la industria, a los encargados de formular políticas y al público en general”.

El caso de Kenya

Kenya, que también solicitó la orientación del OIEA para elaborar un programa nucleoelectrico, creó la Junta de Electricidad Nuclear de Kenya (KNEB) en 2012 a fin de coordinar todas las actividades de preparación relacionadas con el desarrollo de infraestructura nuclear.

“Kenya llevó a cabo sondeos públicos iniciales para conocer los principales intereses y preocupaciones de las partes interesadas, entre ellas el público, en cuanto a la energía nucleoelectrica”, expone Basett Buyukah, Director de Publicidad y Actividades de Promoción en la KNEB. “Los resultados fueron determinantes para que la KNEB desarrollara una estrategia de comunicación integral, comprendidas las actividades, los mensajes y los medios de comunicación preferidos”. A continuación esta puso en marcha un sólido programa de educación pública, destinado entre otros a escuelas, institutos y universidades, y celebró reuniones, conferencias y talleres para diversas partes interesadas.

Comunicación constante

Las actividades sobre la participación de los interesados no cesan con la entrada en funcionamiento de la central, sino que han de mantenerse durante el ciclo de vida de las instalaciones nucleares de que se trate, por ejemplo reactores en funcionamiento, instalaciones temporales de almacenamiento de combustible nuclear gastado y repositorios finales de desechos radiactivos.

“El establecimiento de relaciones positivas y abiertas con las comunidades locales, a saber, trabajadores, familias, representantes de otras industrias, dirigentes, estudiantes y profesores, es fundamental para mantener un ambiente positivo y de confianza”, afirma la Sra. Pagannone.

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Myra Liyana Razali

Encargada de la participación de los interesados,
Empresa de Energía Nucleoelectrica de Malasia
(MNPC)



La Sra. Razali se encarga de la participación de los interesados y de la comunicación empresarial en relación con el desarrollo del programa nucleoelectrico de Malasia. En los últimos años ha participado en las reuniones y misiones de expertos del OIEA, a las que también ha contribuido, y su objetivo es ser exigente en lo que respecta a la participación de los interesados en la industria

nuclear. Trabaja en el ámbito nuclear desde 2007, cuando empezó en el Organismo Nuclear Malasio como oficial de publicaciones.

“Para avanzar en el ámbito nucleoelectrico, hay que hacer frente a los estereotipos negativos de la energía nuclear. La confianza, como nueva divisa de la participación de los interesados, es fundamental para conseguirlo de manera eficaz y precisa una estrategia sincera de comunicación, que consista en escuchar con atención, mantener un diálogo valioso y lograr un respeto mutuo. Por difícil que esto pueda ser, tenemos que hacernos oír entre tanto ruido y mantener nuestro compromiso para seguir contando con la participación del público”.



Más de 60 participantes procedentes de 19 países en fase de incorporación al ámbito nuclear y 16 países con centrales en funcionamiento asistieron a la Reunión Técnica del OIEA sobre Participación de las Partes Interesadas e Información Pública, celebrada del 13 al 16 de junio de 2017 en Viena.

(Fotografía: A. Evrensel/OIEA)

Parte final resuelta: la solución de Finlandia para la disposición final del combustible nuclear gastado

Irena Chatzis



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

(Fotografía: Posiva)

Los países que explotan centrales nucleares almacenan su combustible nuclear gastado en los emplazamientos de los reactores o fuera de ellos. El combustible gastado puede ser peligroso para las personas y el medio ambiente si no es objeto de una gestión adecuada; se requiere, por lo tanto, una solución permanente para su disposición final que tenga aceptación pública (véase el recuadro “Base científica”). Son varios los países que están estudiando la posibilidad de los repositorios de disposición final geológica profunda, pero Finlandia es el único que ha empezado a construir un repositorio para la disposición final de su combustible nuclear gastado.

La receta del éxito de Finlandia

A una profundidad de entre 400 y 450 metros y con alrededor de 70 km de túneles y pozos, el repositorio ONKALO de Olkiluoto, en la costa occidental de Finlandia, albergará contenedores de cobre llenos de combustible gastado procedente de reactores nucleares de potencia. Se prevé que recibirá desechos durante unos 100 años, al cabo de los cuales será sellado.

“Desde que, hace 40 años, se tomó la decisión respecto de la estrategia general de gestión de desechos y de construir un repositorio geológico profundo como opción principal para el combustible nuclear gastado, todas las partes interesadas se han atenido a ella”, dice Tiina Jalonen, Vicepresidenta Senior de Desarrollo de Posiva, la compañía a cargo del

proyecto. “Han cambiado gobiernos y personas, pero la decisión y la visión del futuro se han mantenido inalteradas.”

Otra de las razones por las que el modelo finlandés ha funcionado es la participación oportuna de todas las partes interesadas en el proyecto, que trabajaron como un solo equipo, enfocados en el mismo objetivo.

“Las funciones entre las distintas partes interesadas han estado claras. Los encargados de la adopción de decisiones han elaborado la legislación paralelamente a la implantación de la energía nuclear, y la Autoridad de Seguridad Radiológica y Nuclear (STUK) de Finlandia ha elaborado guías de seguridad, reglamentos y competencias para examinar e inspeccionar nuestra documentación y aplicaciones”, dice la Sra. Jalonen.

Además, la participación de la STUK desde el primer momento fue decisiva para crear confianza en el proyecto. “Este no habría resultado si alguna de las partes interesadas no hubiese estado en el proceso”, explica Petteri Tiippana, Director General de la STUK. “La participación activa del regulador en materia de seguridad proporcionó a la comunidad local garantías adicionales.”

Sin duda alguna, la aceptación pública fue fundamental para el éxito del proyecto. La selección del emplazamiento de Olkiluoto —sede de tres reactores nucleares— como emplazamiento del repositorio obedeció no solo a la idoneidad geológica de esa zona sino también a la

aceptación de las personas que viven en ella. Finlandia realizó muchos estudios sobre las actitudes a nivel local y nacional frente al proyecto, que mostraron que las personas que viven en los alrededores de centrales nucleares tienden a confiar más en los proyectos nucleares.

“La confianza ha sido una piedra angular de la capacidad de seguir adelante según la planificación del Gobierno”, dice la Sra. Jalonen. “La creación de confianza requirió una comunicación intensa y abierta con las personas del lugar, las autoridades y los encargados de la adopción de decisiones.”

El proyecto se basa en el concepto de “barreras múltiples”, concebido, según Posiva, para ofrecer la contención y el aislamiento necesarios para impedir fugas y derrames de combustible gastado. La combinación de lecho rocoso, contenedores de disposición final rodeados de arcilla, túneles rellenos con una arcilla que contiene materiales de relleno y el taponamiento de la boca del túnel servirán como barreras múltiples de protección.

Quién será el próximo

Otros dos países han hecho progresos en la construcción de repositorios para desechos radiactivos de actividad alta o combustible gastado declarado como desecho. En junio de 2016, la Autoridad Sueca de Seguridad Radiológica aprobó la solicitud de licencia para el futuro repositorio geológico profundo de combustible gastado de Forsmark. El Tribunal de Tierras y Medio Ambiente sueco inició en septiembre de 2017 el examen para la concesión de la licencia ambiental del proyecto.

En Francia se está elaborando la solicitud de licencia de la instalación de disposición final geológica profunda, Cigéo, que se prevé presentar a finales de 2018 y cuya construcción comenzará en 2020. La fase piloto de disposición final podría empezar ya en 2025. Contendrá desechos procedentes del reprocesamiento del combustible gastado del parque actual de centrales nucleares de Francia y otros desechos radiactivos de período largo.

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Laurie Swami

Presidenta y Directora General de la Sociedad de Gestión de Desechos Nucleares



La Sra. Swami es la encargada de ejecutar el plan del Canadá relativo a la gestión a largo plazo del combustible nuclear usado. Anteriormente fue Vicepresidenta Sénior de Clausura y Gestión de Desechos Radiactivos en la Ontario Power Generation (OPG), donde como parte de sus responsabilidades supervisó la explotación de las instalaciones

de gestión de desechos radiactivos nucleares de la OPG y también implementó el repositorio geológico profundo de esta para desechos nucleares de actividad baja e intermedia. Empezó su carrera en la OPG en 1986 y desempeñó diversas funciones de creciente responsabilidad en la División Nuclear.

“La gestión a largo plazo y segura del combustible nuclear usado es una responsabilidad importante que tenemos de cara a las futuras generaciones. Afortunadamente, las organizaciones de gestión de desechos nucleares de todo el mundo, incluidas las nuestras, en el Canadá, están cobrando impulso y tomando medidas concretas para poner en práctica los planes de manera que las personas y el medio ambiente estén protegidos.”

BASE CIENTÍFICA

Los desechos radiactivos de actividad alta (HLW) se producen a partir del quemado de combustible de uranio en los reactores nucleares de potencia. Son de dos tipos: combustible gastado, declarado como desecho y listo para su disposición final, o desechos resultantes del reprocesamiento de combustible gastado.

Debido a su alta radiactividad y muy largo período de semidesintegración (el tiempo que lleva que una sustancia radiactiva pierda la mitad de su radiactividad), los HLW tienen que estar bien contenidos y aislados del medio humano. Intensas investigaciones han permitido determinar la idoneidad de distintos tipos de roca para albergar repositorios geológicos profundos y sistemas de barreras artificiales para aislar los desechos. Esos repositorios 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.

Los Emiratos Árabes Unidos apuestan por la energía nuclear: entrevista al Embajador Sr. Hamad Alkaabi

Shant Krikorian

Está previsto que los Emiratos Árabes Unidos pongan en funcionamiento su primer reactor nuclear de potencia en 2018. El país comenzó a construir la primera unidad de la central nuclear de Barakah en 2012, y actualmente tiene cuatro unidades en construcción. Nos hemos encontrado con el Embajador Hamad Alkaabi, Representante Residente de los Emiratos Árabes Unidos ante el OIEA, para hablar del programa nucleoelectrónico de su país.



P: ¿Por qué decidieron los Emiratos Árabes Unidos iniciar un programa nucleoelectrónico?

R: La decisión de los Emiratos Árabes Unidos de iniciar un programa nucleoelectrónico se basó en la necesidad de satisfacer la creciente demanda de energía del país. Nos decantamos por la energía nucleoelectrónica por su competitividad comercial y ambiental. La primera fase del programa incluyó la elaboración de una hoja de ruta detallada en la que se abordaban todos los requisitos en materia de infraestructuras y los costos asociados. La decisión de seguir adelante con el programa se tomó siendo plenamente conscientes de sus consecuencias financieras. El desarrollo de un programa nucleoelectrónico requiere una inversión sólida y estrategias de mitigación de los riesgos. Lo que convierte nuestro programa en un éxito es el firme compromiso del Gobierno, un modelo de negocio viable, una gran aceptación por el público y una cooperación y un apoyo internacionales robustos, por parte del OIEA entre otros actores.

P: ¿Cómo ha ayudado el OIEA en este proceso?

R: El OIEA ha proporcionado orientación sobre el desarrollo de nuestra infraestructura nuclear nacional. La planificación

que hicimos se basó en el enfoque de los hitos del OIEA, con arreglo al cual se llevaron a cabo ocho misiones de examen del OIEA que abarcaron distintas esferas y etapas del programa. Además, los informes de estas misiones de examen se hicieron públicos, lo que contribuyó a aumentar la confianza en el programa de las partes interesadas y del público en general.

P: ¿Qué forma adoptará la cooperación con el OIEA una vez la central de Barakah esté conectada a la red?

R: La cooperación pasará naturalmente a centrarse en esferas más avanzadas de la puesta en servicio y la seguridad del funcionamiento, si bien seguiremos interesados en actividades de apoyo técnico y en misiones de exámenes por homólogos.

Tanto el compromiso de los Emiratos Árabes Unidos con las normas más estrictas de transparencia en el funcionamiento, seguridad tecnológica y física y no proliferación, como nuestra cooperación con el OIEA han permitido que el programa se convierta en un modelo para muchos países que ponen en marcha programas nucleoelectrónicos. Estamos deseosos de compartir nuestra experiencia con otros Estados Miembros del OIEA.



Central nuclear de Barakah, Emiratos Árabes Unidos

(Fotografía: OIEA)

P: ¿Qué puede hacer un país para crear un regulador fuerte al tiempo que desarrolla un programa de energía nucleoelectrica?

R: Un regulador competente en materia de seguridad nuclear es la piedra angular de cualquier programa nuclear exitoso. En primer lugar, establecimos el marco adecuado por medio de una legislación nuclear amplia que otorga al regulador la potestad, la independencia y los recursos que necesita para desempeñar su mandato. En segundo lugar, hemos establecido las capacidades de reglamentación centrándonos en mantener las competencias necesarias. Para ello, hemos atraído, por una parte, a expertos externos con experiencia mundial y, por la otra, hemos capacitado a expertos locales y desarrollado sus competencias. También trabajamos en coordinación con la industria a fin de que la creación de las capacidades de reglamentación sea un proceso gradual directamente vinculado a los progresos del proyecto y a su calendario. Por último, no se puede obviar el valioso apoyo recibido del país de origen del reactor y de otras organizaciones de apoyo técnico internacionalmente reconocidas.

P: En la apuesta de los Emiratos Árabes Unidos por la energía nuclear ha desempeñado un papel importante la mano de obra extranjera.

¿Qué medidas adoptará su país para asegurarse una fuerza de trabajo calificada y sostenible en este sector a largo plazo?

R: Crear una capacidad nacional sostenible es un desafío para cualquier país que emplea la energía nuclear. En los Estados que se incorporan a este ámbito, los proyectos nucleares dependen necesariamente de una fuerza de trabajo y de conocimientos especializados de origen extranjero, en particular al principio del proyecto. A fin de abordar el reto de garantizar la disponibilidad de mano de obra suficiente durante todas las fases del programa nuclear, los Emiratos Árabes Unidos elaboraron una sólida estrategia de recursos humanos que determina la escala y el tipo de conocimientos especializados que se necesitan. Se trata de un enfoque integrado que incluye becas y capacitación y mentoría en el trabajo. En nuestra política, el empoderamiento de los jóvenes y la creación de capacidad son prioridades clave.

P: ¿Por qué motivo los Emiratos Árabes Unidos se ofrecieron para acoger la Conferencia Ministerial Internacional sobre la Energía Nucleoelectrica en el Siglo XXI del OIEA?

R: En 2012, los Emiratos Árabes Unidos se convirtieron en el primer Estado que se incorporaba al ámbito nuclear en prácticamente tres decenios que iniciaba la construcción

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Shaima Al-Mansoori

Directora, Departamento de Enseñanza y Capacitación, Autoridad Federal de Reglamentación Nuclear (FANR) de los Emiratos Árabes Unidos



La Sra. Al-Mansoori es la responsable de creación de capacidad, gestión del conocimiento y capacitación en materia de operaciones de la FANR. Bajo su liderazgo, el Departamento de Enseñanza y Capacitación ha avanzado en el desarrollo de las capacidades del personal y los expertos de los Emiratos Árabes Unidos en las

esferas del desarrollo de competencias, la sucesión, la investigación y el desarrollo, la gestión del conocimiento, las certificaciones técnicas y el desarrollo profesional. La Sra. Al-Mansoori ingresó en la FANR en 2009 y ha desempeñado, junto con expertos del ámbito de la creación de capacidad, un papel importante en el establecimiento del Departamento.

“El empoderamiento de la mujer en el ámbito nuclear es una parte fundamental de nuestro trabajo en la FANR. Hemos desarrollado programas específicos para velar por que nuestras mujeres posean las competencias y los conocimientos requeridos para llevar a cabo su labor de la mejor manera posible. Actualmente, las mujeres de los Emiratos Árabes Unidos representan más del 38 % del total de los 213 empleados de la FANR, y aproximadamente 42 mujeres desempeñan funciones de liderazgo en esferas como la seguridad nuclear tecnológica y física o las salvaguardias, entre otras.”

de un reactor nuclear de potencia, lo que lo convierte en un caso especialmente pertinente para muchos Estados Miembros. El apoyo recibido para acoger esta Conferencia es el reconocimiento a los fructíferos esfuerzos de los Emiratos Árabes Unidos y a su enfoque responsable para desarrollar un programa nuclear pacífico. Además, la Conferencia es un foro importante para discutir el papel actual y futuro de la energía nucleoelectrica en el desarrollo sostenible y la mitigación del cambio climático. Los Emiratos Árabes Unidos se alegran de acoger este oportuno debate, dado nuestro firme compromiso con la energía limpia, en el que la energía nuclear, la solar y otras fuentes limpias desempeñarán un papel importante en la futura canasta de energía de nuestra nación.

China: el productor de energía nucleoelectrónica que más rápidamente está creciendo del mundo

Laura Gil



Esta gran estructura circular, conocida como “la cúpula”, es solamente un elemento de la central nuclear de Fuqing (China), actualmente en construcción.

(Fotografía: M. Klingenboeck/OIEA)

Tiene 38 reactores nucleares de potencia en funcionamiento y 19 en construcción¹. Ha multiplicado por más de diez el número de reactores en funcionamiento desde el año 2000 y, solo este año, tiene previsto poner en servicio a escala comercial cinco unidades. Estamos hablando de China, el generador de energía nucleoelectrónica que más rápidamente está creciendo del mundo.

“China es un país grande. Nuestra demanda de energía es mayor que la de otros países, pero también tenemos más margen para la energía nucleoelectrónica”, afirma Zheng Mingguang, Presidente del Instituto de Investigación y Diseño de Ingeniería Nuclear de Shanghai (SNERDI).

China ocupa el primer puesto en la lista de “países en expansión” del mundo, seguido de Rusia, con siete reactores en construcción, la India, con seis, y la República de Corea, con tres. Actualmente, los países con más reactores en funcionamiento son los Estados Unidos, Francia, el Japón y China.

En un intento por reducir su dependencia del carbón, que contamina el aire y es difícil de transportar desde las minas de carbón del oeste y el norte del país hasta la costa sudoriental, económicamente desarrollada, China

está construyendo la mayoría de sus reactores a lo largo de esta costa. La energía nuclear debería permitirle aumentar su seguridad energética, reducir su dependencia del carbón y el petróleo y limitar las emisiones de CO₂, manteniendo al mismo tiempo su crecimiento económico.

Una prueba para el mundo

Los 19 reactores que se están construyendo en China incluyen varios modelos avanzados. “La industria nuclear observa cómo China pone en funcionamiento los primeros reactores AP1000 en Sanmen y Haiyang”, señala Nesimi Kilic, ingeniero nuclear del OIEA. Está previsto que uno de estos, el Sanmen-1, esté terminado para 2018. También debería iniciarse la explotación comercial del reactor EPR de Taishan en 2018. La puesta en servicio de Sanmen-1 podría propiciar que se construyeran más reactores de este tipo en otros países, en palabras del Sr. Kilic. “China se ha convertido en un laboratorio para el mundo”.

Los aspectos económicos de la energía nuclear

Está previsto que la Administración Nacional de Energía, el regulador en materia de energía de China, eleve el objetivo en términos de capacidad nuclear del país hasta una cifra comprendida entre 120 y 150 gigavatios para 2030, en

¹ Estas cifras no incluyen seis unidades en funcionamiento y dos en construcción en Taiwán (China).

comparación con los aproximadamente 38 gigavatios en 2017. Este aumento hace que la energía nuclear sea económicamente competitiva, han afirmado distintos expertos chinos.

“Disponemos de un sistema consolidado y completo”, afirma el Sr. Zheng. “No solo desde el punto de vista del diseño, sino también en términos de fabricación, garantía de la calidad, seguridad y construcción. Por este motivo, la energía nucleoelectrica en China es una opción económicamente viable.”

Lo que otorga ventaja a los chinos y posibilita esta expansión es la decisión de localizar la tecnología, es decir que tanto el diseño como la fabricación tengan lugar en China, explica el Sr. Kilic. El país cuenta con las instalaciones, la tecnología y la capacidad humana.

Expansión en el extranjero

Las ambiciones de China también trascienden sus fronteras, pues prevé exportar reactores nucleares de potencia en el futuro.

“El desarrollo de la tecnología podría provocar que, en el futuro, los aspectos económicos de la energía nucleoelectrica sean mejores”, declara el Sr. Zheng, que añade que los países necesitan apoyarse entre sí. China ya comparte prácticas óptimas basadas en su experiencia, utilizando para ello el OIEA como plataforma.”



Trabajadores de la central nuclear de Fuqing (China) reciben instrucciones.

(Fotografía: Corporación Nuclear Nacional de China, Compañía de Energía Nucleoelectrica de Fuqing)

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Rong Fang

Jefa Economista, Compañía Estatal de Tecnología Nucleoelectrica (SNPTC)



Durante los últimos 32 años, la Sra. Rong se ha dedicado al desarrollo de la industria nuclear de China y ha ocupado puestos ejecutivos en institutos de investigación y de diseño del ámbito nuclear, centrales nucleares, fabricantes de equipo nuclear y corporaciones nucleares nacionales. Ha

ultimado el diseño de varios importantes proyectos de ingeniería nuclear, contribuido a la planificación de la industria nuclear en China y facilitado el establecimiento de varias iniciativas nucleares profesionales, incluida la ingeniería, la explotación y la gestión del combustible en proyectos de energía nucleoelectrica con reactores del tipo AP1000. En 2017 se convirtió en la primera mujer de la China continental en ser galardonada con el premio *Women in Nuclear*.

“Los esfuerzos de China para desarrollar la energía nuclear son necesarios a fin de salvaguardar la seguridad energética, mejorar la estructura energética y luchar contra el cambio climático. Creo que, en su empeño por desarrollar la energía nuclear, China seguirá rigiéndose por la estrategia de los tres pasos, a saber, reactores de agua a presión, reactores rápidos y reactores de fusión. Además, la tecnología avanzada Gen III pasiva de reactores de agua a presión será el modelo convencional en la China continental durante los próximos decenios.”

Financiación y gestión de los riesgos de la energía nuclear: el modelo británico

Jennet Orayeva



Trabajadores en las obras de construcción de Hinkley Point C

(Fotografía: EDF Energy)

Aunque las centrales nucleares tienen una vida larga y unos costos de funcionamiento bajos, requieren un elevado desembolso de capital inicial y un tiempo de planificación y construcción largo. Esto significa que los aspectos económicos de estas centrales son sensibles al costo de la financiación y a los sobrecostos, y que cualquier retraso en el proyecto puede encarecerlo. La financiación adecuada de estos proyectos es un gran desafío que, por lo general, requiere una implicación considerable del gobierno.

Tradicionalmente, los costos derivados de la construcción y la explotación de una central nuclear se cargaban en su mayor parte a los consumidores de electricidad en forma de tarifas reguladas, reduciendo así al mínimo el riesgo a una posible fluctuación de los precios para entidades crediticias, inversores y explotadores. Este enfoque tradicional caracterizó la mayoría de mercados de electricidad antes de la liberalización, en los que muchas compañías eléctricas eran monopolios integrados que combinaban la generación, la transmisión, la distribución y la venta minorista, y el nivel de intervención gubernamental en la reglamentación era elevado.

No obstante, la liberalización del mercado que se inició en el mundo desarrollado en los años 90 del siglo XX ha propiciado un aumento de los precios y más incertidumbre en materia de ingresos, de modo que entidades crediticias e inversores se muestran reacios a aportar los cuantiosos recursos necesarios para construir una central nuclear.

En un intento por vencer esta reticencia, las partes interesadas han ideado enfoques innovadores en materia de distribución del riesgo en los proyectos nucleoelectricos que tienen por fin dar garantías adicionales a posibles entidades crediticias y

reducir los costos de capital. Estos enfoques incluyen reducir la volatilidad de los ingresos garantizando para ello los precios de la electricidad y proporcionando distintas formas de garantías gubernamentales.

¿Por qué el modelo británico de sustituir energía nuclear por energía nuclear es importante?

Actualmente, alrededor del 20 % del suministro eléctrico del Reino Unido es de origen nuclear.

En el contexto más amplio de su Reforma del Mercado de la Electricidad, el Gobierno ha decidido seguir dependiendo de la energía nuclear en lugar de hacerlo únicamente del gas o de fuentes renovables, y está tratando de sustituir su parque actual de centrales nucleares.

A día de hoy, se han propuesto o previsto hasta 11 reactores en 6 emplazamientos. La central de Hinkley Point C ya ha superado varias fases del proceso de adopción de decisiones y su puesta en servicio está prevista para principios de los años 20 de este siglo.

El modelo del Reino Unido cuenta con tres mecanismos principales en apoyo de la energía nuclear: un programa de garantía del precio conocido como contrato por diferencias (CfD); un programa de garantías gubernamentales; y un mecanismo para limitar la exposición de los inversores a los costos que entraña la disposición final de desechos de actividad más alta, incluido el combustible nuclear gastado.

El contrato por diferencias

El CfD consiste en un precio garantizado, respaldado por los contribuyentes, para la electricidad generada a partir de tecnologías de bajas emisiones de carbono. Según lo previsto en su CfD, una vez Hinkley Point C entre en funcionamiento, percibirá la diferencia (sobre una base “por megavatio hora”) entre el “precio de ejercicio” (el precio de la electricidad que tiene en cuenta el costo de invertir en una tecnología de bajas emisiones de carbono determinada) y el “precio de referencia”, una medida del precio medio de la electricidad en el mercado británico. Si el precio medio de mercado (el precio que un generador como la central de Hinkley Point C podría esperar recibir directamente por la venta de su electricidad en el mercado) es inferior al precio de ejercicio, el generador recibe un pago “complementario” para compensar esta diferencia. Si el precio medio de mercado es superior al precio de ejercicio, el generador debe abonar la diferencia.

“En el proyecto de Hinkley Point C, el CfD mitiga notablemente el denominado “riesgo de mercado” al que se enfrentan las entidades crediticias y los inversores”, señala Anurag Gupta, Director y Responsable de Sector a escala Global para Infraestructuras Energéticas y Financiación Corporativa de KPMG.

Esto proporciona a los generadores de electricidad más certidumbre y estabilidad en términos de ingresos al reducir su exposición a unos precios al por mayor volátiles, al tiempo que evita que los consumidores paguen unos costos de apoyo más elevados de lo necesario cuando los precios de la electricidad sean altos.

“Al crear más certidumbre, los inversores y las entidades crediticias pueden modelar el proyecto, lo que a su vez les permite tomar decisiones más fundamentadas”, explica Paul Murphy, Director Ejecutivo de Gowling WLG. “Además, establecer un contrato por 35 años en lugar de por 20 años, como tradicionalmente se hace, facilita que se hagan más inversiones en el capital social a largo plazo, así como opciones de refinanciación.”

El Programa de Garantías del Reino Unido

El Programa de Garantías del Reino Unido (UKGS) es un mecanismo desarrollado por el Gobierno británico para ofrecer mejoras crediticias mediante garantías de deuda. El programa se puso en marcha en 2010 con un presupuesto de 40 000 millones de libras esterlinas en garantías destinado a distintas categorías de infraestructuras del Reino Unido, como la energía, el transporte y las infraestructuras sociales. El apoyo de este programa se ha puesto a disposición del proyecto de Hinkley Point C (por deudas de una cuantía de hasta 2000 millones de libras esterlinas).

“Resulta instructivo que el Gobierno del Reino Unido haya llegado a la conclusión, tras años de análisis, de que, incluso en un mercado con un largo historial de energía nucleoelectrica civil, el apoyo gubernamental sigue siendo necesario para facilitar el desarrollo de la energía nucleoelectrica”, comenta el Sr. Murphy.

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Helen Cook

Asesora, Shearman & Sterling LLP



La Sra. Cook asesora a clientes sobre el establecimiento y la ejecución de programas nucleoelectricos civiles y sobre la adquisición, construcción y financiación de nuevas centrales nucleares e instalaciones y transacciones conexas relacionadas con el combustible nuclear. Ha escrito

The Law of Nuclear Energy y preside el Grupo Jurídico de la Asociación Nuclear Mundial. Recientemente, la Sra. Cook fue incluida en la lista de estrellas emergentes en Washington D.C. correspondiente a 2017, elaborada por la publicación *National Law Journal* y que distingue a los 40 abogados menores de 40 años más prometedores de la zona de Washington D.C.

“El futuro de la industria nuclear mundial pasa por atraer nuevas fuentes de financiación para los proyectos nucleoelectricos. Esto significa gestionar el perfil de riesgo, singular y sumamente complejo, de las centrales nucleares, lo que abarca tanto los riesgos financieros como para la reputación, y reconocer al mismo tiempo que el carácter de estos riesgos varía durante la vida del proyecto.”

Limitar la exposición de los inversores a los costos de deshacerse de desechos de actividad más alta

Una de las cuestiones clave asociadas a la energía nucleoelectrica es la incertidumbre con respecto a los costos de deshacerse de desechos de actividad más alta, incluido el combustible nuclear gastado. El Gobierno del Reino Unido ha establecido un mecanismo para limitar de manera efectiva estos costos, reduciendo así la exposición de los explotadores al riesgo de un aumento de estos. El mecanismo consiste en fijar un límite máximo (o “tope”) para el “precio de transferencia de los desechos” que el explotador tendrá que abonar a cambio de que el Gobierno del Reino Unido asuma la “titularidad” de los desechos de actividad más alta (y, por extensión, la responsabilidad de su disposición final).

“Al limitar efectivamente el precio de transferencia de los desechos en última instancia, el Gobierno del Reino Unido ha tranquilizado a posibles inversores en relación con aquellos proyectos cuyo riesgo es muy “difícil de cuantificar”, explica Paul Warren, Ingeniero Superior de Energía Nucleoelectrica del OIEA.

Fomento de las carreras profesionales en el ámbito nuclear: la estrategia del Reino Unido para crear una fuerza de trabajo sostenible en la esfera nuclear

Oleksandra Gudkova



Trabajadores de Sellafield
(Fotografía: NDA)

Con el fin de abordar la creciente brecha en términos de competencias debida a la jubilación de una fuerza de trabajo cada vez más vieja en la industria nuclear, el Reino Unido está diseñando estrategias para desarrollar las competencias de los jóvenes y alentarlos a que sigan una carrera en este sector.

“El Reino Unido está viviendo un renacimiento nuclear”, declara Lynne Matthews, Responsable de Estrategia en materia de Educación y Competencias de EDF Energy. “La construcción, explotación y clausura de las centrales actuales y futuras pasa por garantizar que disponemos de las competencias necesarias.”

Una de las maneras de resolver esta deficiencia, añade la Sra. Matthews, es promover el conocimiento y la aceptación por el público de la energía nuclear mediante programas y actividades e inspirar a los jóvenes para que opten por una carrera en esta industria.

La energía nuclear explicada a los niños

El *Pod* es un programa de enseñanza promovido por EDF Energy, el mayor productor de electricidad de bajas emisiones de carbono del Reino Unido. El programa proporciona recursos de libre acceso para educar a niños y adolescentes de entre 4 y 14 años en cuestiones relacionadas con la energía, los desechos, el agua, el transporte, la biodiversidad y el cambio climático.

EDF Energy desarrolló el *Pod* en 2008 para contribuir a la consecución de su objetivo, a saber, que, para 2012, 2,5 millones de niños participaran en programas de enseñanza sobre el uso sostenible de la energía. Actualmente, se han inscrito en el programa más de 22 000 escuelas, 10 millones de niños y 32 000 profesores, y también participan en él más de 200 escuelas de otros 54 países más.

“El *Pod* ofrece al profesorado ideas que pueden utilizar en clase, como juegos y concursos. Este enfoque interactivo permite que los estudiantes se diviertan mientras aprenden sobre el desarrollo sostenible y el ahorro de energía”, explica la Sra. Matthews.

“Hemos empezado en la escuela primaria y estamos trabajando para llegar hasta la universidad. También organizamos visitas a emplazamientos nucleares para ayudar a disipar cualquier mito sobre la energía nuclear. Queremos alentar la apertura, la transparencia y la confianza.”

Dentro de sus actividades educativas, EDF Energy también ofrece a los jóvenes la oportunidad de matricularse en talleres de capacitación y en programas de grado y posgrado, lo que permite a los estudiantes ampliar sus cualificaciones académicas y, al mismo tiempo, adquirir experiencia sobre el terreno, así como las competencias necesarias para forjar una carrera de éxito en la industria nuclear.

Estrategias nacionales específicas

A nivel nacional se están llevando a cabo otras actividades. El Grupo de Estrategia sobre Competencias Nucleares (NSSG) del Reino Unido se estableció para coordinar los esfuerzos de todos los principales actores nucleares del sector. Ha elaborado un plan de acción claro de iniciativas de colaboración que aborda la captación, el desarrollo y la movilización de una fuerza de trabajo para el sector nuclear. Cada una de estas iniciativas está patrocinada por organizaciones del sector, si bien en ellas también participan distintos organismos gubernamentales.

Uno de los elementos del Plan Estratégico del NSSG es la Estrategia sobre la Población de la Autoridad de Clausura de Instalaciones Nucleares (NDA), que tiene por fin garantizar que las organizaciones del Reino Unido del sector de la clausura posean las competencias y la capacidad para ejecutar su misión.

“Esta estrategia abarca una gama de aspectos, desde atraer a los jóvenes a la industria por medio de intervenciones específicas a nivel escolar relacionadas con las competencias y del desarrollo de programas de aprendizaje adaptados a las necesidades hasta el desarrollo y la reasignación de competencias para velar por que el sector no las pierda”, afirma Beccy Pleasant, Responsable de Competencias y Talento de la NDA.

Sellafield, la instalación de reprocesamiento de combustible y clausura de instalaciones nucleares del Reino Unido, ha desarrollado otro programa. “Ofrece aprendizajes en el ámbito nuclear a jóvenes que buscan una alternativa a la universidad”, señala la Sra. Pleasant. “Estos son solo algunos ejemplos de la labor de la NDA a fin de que en todo momento se disponga de una fuerza de trabajo cualificada para llevar a cabo actividades relacionadas con la clausura.”

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Helena Zhivitskaya

Vicerrectora, Universidad Estatal de Informática y Radioelectrónica de Belarús, Secretaria Científica de la Red Regional de Enseñanza y Capacitación sobre Tecnología Nuclear (STAR-NET)



Con más de 15 años de experiencia de gestión, la Dra. Zhivitskaya supervisa el control de la calidad y la elaboración de los programas educativos, incluido el del grado de Sistemas de Instrumentación y Control para Centrales Nucleares, entre otros. Ha realizado una contribución fundamental al “programa educativo de Belarús en

materia de energía nuclear, 2008-2020”. También es autora de más de 170 obras y publicaciones científicas, incluidas 4 monografías y 11 libros de texto, así como una de las artífices y responsables de la creación y el funcionamiento de la Red Regional de Enseñanza y Capacitación sobre Tecnología Nuclear (STAR-NET).

“El desarrollo de la energía nuclear en condiciones de seguridad es clave para resolver los problemas energéticos a los que se enfrenta la sociedad. En la era de la globalización y de un desarrollo acelerado, una nueva generación de profesionales de la tecnología nuclear debe desarrollar constantemente sus conocimientos, su creatividad y su vertiente innovadora. Crear más conciencia entre la población sobre los extraordinarios beneficios de la energía nuclear, y por extensión mejorar la imagen que las personas ajenas a este ámbito tienen de esta energía, es fundamental para atraer a personal altamente cualificado.”

Recursos educativos del OIEA para formar en ciencia nuclear

¿Cómo se puede hacer más atractiva una carrera en el ámbito nuclear? Gracias al *Compendium*, un instrumento del OIEA que tiene por objetivo concienciar a los jóvenes a propósito de la ciencia nuclear y hacer que la valoren más.

El *Compendium*, que el OIEA y expertos en educación de varios países están probando, se compone de estrategias y materiales didácticos únicos encaminados a introducir la ciencia y la tecnología en los sistemas educativos.

Preparado en el marco de un proyecto de cooperación técnica del OIEA, el *Compendium* se elaboró a partir de aportaciones técnicas de expertos de Australia, los Estados Unidos, Finlandia, la India, Israel, el Japón, el Reino Unido y la República de Corea. El proyecto consistió en reunir una colección de programas y actividades extracurriculares para docentes y estudiantes de enseñanza secundaria a fin de aumentar la curiosidad, la conciencia y los conocimientos de los estudiantes.

El *Compendium* propone temas relacionados con el ámbito nuclear dirigidos a la enseñanza secundaria, mientras que la naturaleza modular de los materiales permite a profesores y alumnos seleccionar las actividades que atiendan a sus necesidades específicas.

El *Compendium* se puso en marcha en 2015 a título experimental en los Emiratos Árabes Unidos, Filipinas, Indonesia y Malasia, y está previsto llevarlo a más países, como Jordania, Sri Lanka y Tailandia, cuando lo soliciten.

Los reactores de la próxima generación: instrumentos seguros y económicos para una energía sostenible

Matthew Fisher

La industria nuclear podría beneficiarse de una nueva generación de reactores diseñados para crear centrales nucleares más seguras inherentemente y más eficientes. Estos reactores pueden contribuir al desarrollo de una energía nuclear más sostenible y también pueden utilizarse en diversas aplicaciones industriales.

Reactores avanzados con características de rendimiento y seguridad únicas

Los reactores de la próxima generación están concebidos para cumplir varios criterios de referencia en relación con el rendimiento, la seguridad y la fiabilidad. Por ejemplo, los reactores modulares pequeños (SMR) son reactores avanzados que pueden generar hasta 300 MW de electricidad y cuyas partes pueden transportarse a las instalaciones como módulos prefabricados.

“Gracias a su modelo de construcción prefabricada y a su tamaño más pequeño, el costo de capital de los SMR es inferior al de los reactores de gran tamaño habituales actualmente en construcción o en servicio,” señala Stefano Monti, Jefe de la Sección de Desarrollo de la Tecnología Nucleoelectrica del OIEA. “También se prevé que el período de construcción sea más corto, ya que primero se fabrican los módulos y, posteriormente, estos se trasladan al emplazamiento para la construcción del reactor. Asimismo, los SMR son inherentemente menos propensos a los accidentes severos, dado que están diseñados para que su frecuencia de daño al núcleo sea menor.”

Estos diseños de reactores avanzados traen consigo la posibilidad de ampliar el papel de la energía nuclear. Hasta ahora, la energía nuclear se ha utilizado principalmente para generar electricidad, pero también existen muchas otras aplicaciones no eléctricas para las cuales los reactores de nueva generación podrían ser muy adecuados.

“Los beneficios de la energía nuclear no deberían limitarse a la producción de electricidad, sino que también deberían centrarse en otras aplicaciones, como la producción de calor,” apunta François Gauché, Presidente del Grupo de Políticas del Foro Internacional de la Generación IV y Director de la División de Energía Nuclear de la Comisión de Energía Atómica y Energías Alternativas de Francia. “La idea que está detrás de los reactores modulares pequeños es intentar obtener unidades de menor tamaño y modulares, un diseño simplificado y una seguridad demostrada para disponer de mayor flexibilidad y facilitar las decisiones sobre inversiones.”

Varios países están desarrollando y diseñando los reactores de la próxima generación y ya se ha iniciado la construcción de cuatro SMR en la Argentina, China y Rusia.

Reactores innovadores para una energía sostenible

El reactor modular de lecho de bolas de alta temperatura (HTR-PM), que es el reactor refrigerado por gas más avanzado que existe, se está construyendo actualmente en China. Este reactor modular está diseñado con el objetivo de optimizar la eficiencia energética y es ideal para aumentar poco a poco la capacidad de las redes

Reactores del futuro

FNPP
Unidad flotante de potencia con reactor KLT-40S

KLT-40S:

- Reactor de potencia flotante (FNPP)
- Puede transportarse a zonas remotas para suministrar calefacción y electricidad

HTR-PM:

- Ideal para aumentar poco a poco la capacidad de las redes eléctricas
- Podría utilizarse para la aplicación de calor

CAREM:

- Reactor de agua a presión integrado
- Utiliza elementos de seguridad que no requieren la intervención del personal del reactor

(Infografía: F. Nassif/OIEA)

eléctricas, apunta Yuliang Sun, Director Adjunto e Ingeniero Jefe Adjunto del Instituto de Tecnología de la Energía Nuclear y de las Nuevas Energías de la Universidad de Tsinghua. Este tipo de reactor también es adecuado para la cogeneración de electricidad y calor, en particular para la aplicación de calor a temperaturas más elevadas.

En la Argentina se está construyendo el CAREM, un reactor de agua a presión (PWR) integrado. Está previsto que entre en funcionamiento para finales de 2018. El diseño de este SMR incorpora elementos de seguridad que no requieren la intervención del personal del reactor, en particular la capacidad de entrar automáticamente en régimen de parada si se detecta un problema en el reactor.

Un caso digno de mención es el KLT-40S, un reactor de potencia flotante que se está construyendo en Rusia. Este tipo de reactor puede tener aplicaciones en la producción de calefacción y electricidad y en el suministro de energía eléctrica para consumidores aislados de zonas remotas. El RITM-200, también en construcción en Rusia, está diseñado para la propulsión marina de buques rompehielos, pero también puede utilizarse como un SMR, en tierra o montado en una plataforma, para generar calor y electricidad.

Reactores rápidos para una energía nuclear más eficiente

Los reactores rápidos están diseñados para producir entre 60 y 70 veces más energía a partir del uranio que los reactores térmicos actuales. Al reciclar el combustible gastado y utilizar neutrones “rápidos” (neutrones producidos por fisión que no se frenan con un moderador), estos reactores son altamente eficientes, producen muchos menos desechos nucleares y ofrecen múltiples posibilidades para las aplicaciones no eléctricas de la energía nuclear, sobre todo en los procesos industriales.

Hoy en día, el único reactor rápido en servicio con fines comerciales es el reactor BN-800 de Rusia, que se conectó a la red en diciembre de 2015. Funciona con combustible de óxidos mixtos y cuenta con características de seguridad avanzadas. Además, es sumamente eficiente en cuanto al consumo de combustible.

“El reactor BN-800 constituye otro paso adelante para lograr la comercialización plena de los reactores rápidos, que podrán competir en costo con los PWR,” según Vyacheslav Pershukov, Director General Adjunto de Rosatom.

El OIEA viene apoyando la evolución de estas tecnologías innovadoras, en particular acogiendo una serie de conferencias sobre las nuevas tecnologías de reactores en pro del desarrollo sostenible. En junio de 2017, el OIEA celebró en Ekaterimburgo (Rusia) la tercera Conferencia Internacional sobre Reactores Rápidos y Ciclos del Combustible Conexos. Estos eventos congregaron a numerosos profesionales del ámbito para debatir sobre la mejor forma de aplicar los nuevos diseños de reactores con el fin de suministrar energía limpia y sostenible.

MUJERES EN EL ÁMBITO NUCLEAR

Patricia Paviet

Directora, Oficina de Tecnologías Químicas y de los Materiales, Departamento de Energía de los Estados Unidos



La Dra. Paviet supervisa las actividades de I+D relacionadas con la parte final del ciclo del combustible nuclear, que incluyen la recuperación de materiales y fabricación de formas de desechos, la protección de los materiales, la rendición de cuentas y las tecnologías de

control. Antes de incorporarse al Departamento de Energía de los Estados Unidos, Patricia Paviet fue Directora Adjunta del Instituto de Ciencia y Tecnología Nucleares para investigación y enseñanza del ciclo del combustible, situado en el Laboratorio Nacional de Idaho, donde se encargó de fortalecer las alianzas de la Universidad y ampliarlas a esferas como la ciencia de los actínidos, las separaciones, las salvaguardias y la instrumentación. La Dra. Paviet es la Presidenta del Grupo de Tareas sobre Enseñanza y Capacitación del Foro Internacional de la Generación IV.

“El vigor, la prosperidad y la sostenibilidad futuros del ciclo del combustible nuclear dependen de la formación de los ingenieros, los científicos y los radioquímicos especializados en el ámbito nuclear. Se necesitarán asimismo nuevas ideas y soluciones innovadoras. La enseñanza y la capacitación deberían constituir prioridades, no solo con miras a afrontar la dificultad de mantener una fuerza de trabajo sólida y con una buena formación, sino también para lograr el crecimiento proyectado en esta esfera.”

Nuevos diseños para superar los desafíos

Si bien los SMR pueden reportar numerosos beneficios, su implementación aún conlleva algunas dificultades. “Dado que aún se debe proceder al despliegue de los SMR avanzados, sigue siendo necesario consolidar una infraestructura de reglamentación para esos reactores,” dice el Sr. Monti. “Otra de las dificultades es disponer de una única sala de control para todos los módulos de un SMR. Es algo que no se ha hecho antes y que, si funciona, podría ayudar a simplificar las actividades del reactor.” Aunque la concesión de licencias para los SMR puede prolongarse más al principio, una vez que el marco regulador esté consolidado, este proceso debería ser mucho más ágil, añade.

Los siete secretos para una energía nuclear barata

Michael Shellenberger



Michael Shellenberger es el Presidente de *Environmental Progress*, una organización independiente de investigación y políticas sita en Berkeley, California (Estados Unidos de América). Este artículo se ha extraído de su nuevo informe, *Seven Secrets to Cheap Nuclear Energy*.

Con frecuencia, los ministros de Energía y otros encargados de la formulación de políticas se enfrentan a una desconcertante variedad de argumentos de venta de los promotores de centrales nucleares, lo que ha llevado a muchos países a tomar decisiones equivocadas que, a su vez, han provocado grandes retrasos en la construcción e importantes sobrecostos en los Estados Unidos, Finlandia, Francia, China, la India y el Reino Unido, entre otros.

La buena noticia es que existe un consenso abrumador entre economistas y expertos en energía en cuanto a lo que se necesita para que la energía nuclear sea competitiva. Este consenso se basa en los datos sobre el costo de construcción y explotación obtenidos en países de todo el mundo durante un período de más de 40 años.

Lograr el consenso nacional en torno a un plan energético a largo plazo. No se puede evaluar el éxito de un programa nuclear en solo unos años; para eso han de pasar *decenios*. Eso significa que todo el espectro político

nacional debe apoyar decididamente el programa nuclear, de manera que un posible cambio de gobierno no interrumpa la construcción de centrales nucleares y, por extensión, el objetivo nacional de que la energía nuclear suministre el 20, el 40 o incluso el 80 % de la electricidad. Para llegar a ese consenso es preciso demostrar que la energía nuclear es *necesaria* por motivos económicos, medioambientales y de seguridad. Asimismo, también debe haber consenso acerca de la seguridad relativa de la tecnología nuclear, ya que esta es la principal preocupación de todas las partes.

Contar con la población. Como sucede con todas las tecnologías, la energía nuclear debe contar con el apoyo de la población para sobrevivir y prosperar. La mayoría de las personas, tanto de países desarrollados como en desarrollo, saben poco sobre energía y desconfían de la nuclear a pesar de que es el modo más seguro de producir electricidad. Por lo tanto, contar con la población no es opcional: es fundamental. Los esfuerzos por implicar a la población deben tener una base científica y apoyarse en los mejores estudios psicológicos, sociológicos y de opinión pública disponibles.

Utilizar un único diseño. Francia y Corea del Sur han demostrado que, para que los obreros construyan los reactores y las centrales en menos tiempo y con menos costo, deben adquirir experiencia, lo que solo se consigue con la repetición. Si bien se pueden introducir pequeños cambios en el diseño —como aumentar el tamaño del reactor o añadir características de seguridad— el diseño del núcleo debe ser el mismo.

Encargar la construcción a un solo constructor con experiencia. Una sola persona debe encargarse de supervisar todos los aspectos relacionados con la construcción. Esa persona debería tener experiencia y contar con la confianza de los encargados de la formulación de políticas, debe rendir



Central nuclear de Civeaux (Francia)

(Fotografía: EDF)



Personal directivo experimentado supervisa la construcción de la central nuclear de unidades múltiples de Shin-Kori.

(Fotografía: M. Shellenberger)

cuentas y, a su vez, debería tener autoridad para poder hacer que todos los que participan en el proyecto asuman su responsabilidad. Además, todas las partes deben asumir la responsabilidad de controlar los costos.

Construir la central más grande posible. A pesar de cierto entusiasmo reciente por el diseño de centrales más pequeñas, las pruebas demuestran que la electricidad de las centrales nucleares que producen más es más barata que la de las que producen menos. Esto se debe en gran medida a que el número adicional de trabajadores que se necesita para generar electricidad en reactores más grandes queda contrarrestado por una producción mayor. Esto es así incluso cuando reactores más grandes aumentan ligeramente el costo de construcción; ese costo queda compensado por una producción mayor. En países más pequeños o con una menor demanda de electricidad, las centrales más pequeñas pueden ser más adecuadas. Pero si se opta por esas centrales, los países compradores deben ser conscientes de que el costo de explotación por unidad de electricidad producida será mayor.

Fijar el precio y no permitir cambios durante la construcción. La clave para que el costo de la construcción sea bajo no es centrarse en el costo total estimado, sino en reducir los riesgos al mínimo. Es mejor que los países opten por un constructor algo más caro pero con muchísima más experiencia —y que acepte un precio fijo a cambio de no realizar modificaciones— en lugar de uno que ofrezca un precio más económico que podría dispararse. La clave consiste en evitar controversias entre el comprador y el constructor ya

que, en el fondo, es imposible determinar quién tiene razón y quién no, y las demoras en la construcción supondrán un problema para todos. La transparencia es fundamental para que esto funcione: el comprador debe tener la posibilidad de comprobar las cuentas del proveedor.

Financiar con préstamos en condiciones favorables.

Algunos de los costos más elevados derivados de las demoras en la construcción no son más que el pago de los intereses. Para evitar costos elevados es necesario evitar los retrasos y obtener una financiación con bajo interés, ya sea por medio del gobierno, los contribuyentes (en forma de un cargo en las facturas de consumo eléctrico) o de un banco internacional de desarrollo. La fase del proyecto que más riesgo presenta es la planificación; una vez iniciados los trabajos de construcción ese riesgo se reduce. Por lo tanto, los países compradores deberían tener distintos tipos de financiación para las diferentes fases.

Estos siete secretos son los únicos para conseguir energía nuclear barata que se sustentan en datos sólidos. Aunque puede que los promotores de centrales nucleares mencionen otros elementos, como reciclar el combustible, construir en fábrica una mayor parte de la central y emplear diseños que no sean de agua ligera, no está nada claro qué aportan estas posibilidades.

Aunque la energía nuclear se enfrenta a importantes desafíos, todavía puede alcanzar su objetivo de proporcionar al mundo un porcentaje cada vez mayor de electricidad barata y limpia.

La innovación en la esfera nuclear es clave para garantizar un futuro energético sostenible

William D. Magwood, IV

Para la mayoría de países, una política energética exitosa es la que cumple los tres pilares de la sostenibilidad: seguridad del suministro, protección del medio ambiente y asequibilidad. En el mercado de la electricidad, que evoluciona rápidamente, la importancia de la energía nucleoelectrica para la canasta de energía dependerá de su capacidad para atender las necesidades energéticas presentes y futuras, tal y como recogen estos tres pilares. Es evidente que satisfacer estas expectativas requerirá innovación en materia de tecnología nuclear.

Las centrales nucleares permiten generar de manera fiable electricidad apta para su utilización que los operadores de la red eléctrica distribuyen según las necesidades día y noche, durante todo el año y cualesquiera que sean las condiciones meteorológicas. Además, las centrales nucleares pueden desplegarse a gran escala para responder al aumento previsto de la demanda de electricidad neutra en carbono. Es probable que, dado el peso cada vez mayor que están adquiriendo las fuentes de energía renovables variables, la generación de energía nuclear tenga que ser más flexible y trascender su modo de operación en carga base tradicional. Este aumento de la flexibilidad implicará la necesidad de optimizar e innovar en esferas como el diseño de reactores y de combustible; la capacidad de seguimiento de la carga de los reactores nucleares; el despliegue de reactores modulares pequeños (SMR); y la elaboración de estrategias de cogeneración que puedan proporcionar flujos de demanda y de ingresos adicionales a los explotadores de las centrales.

Si bien existe un consenso general en el sentido de que la tecnología nuclear es una tecnología limpia y de bajas emisiones de carbono que puede dar respuesta a las preocupaciones medioambientales, hay dudas acerca de su capacidad para adaptarse a las condiciones actuales del mercado, que son muy complejas. Estas condiciones incluyen un descenso de los costos de la energía renovable y unas políticas y subsidios gubernamentales muy favorables a las energías renovables, así como la importancia cada vez mayor que están adquiriendo fuentes no convencionales de combustibles fósiles, como el gas de lutita sin tarificación de las emisiones de carbono en el mercado. Dado que los mercados de electricidad no están estructurados para tener en cuenta estos cambios en la tecnología y las políticas, estos factores reducen la rentabilidad de muchas centrales eléctricas de carga de base existentes, en particular centrales nucleares. Para que los mercados de electricidad sean sostenibles, es preciso modernizarlos a fin de garantizar la fiabilidad a largo plazo; no obstante, con independencia de lo que nos depara el futuro, el porvenir de la energía nucleoelectrica obligará a introducir innovaciones para reducir el costo global de generación, manteniendo al mismo tiempo unos niveles de seguridad nuclear elevados.

La importancia de la cooperación internacional

La Agencia para la Energía Nuclear (AEN) puso en marcha la iniciativa “Innovación Nuclear 2050” (NI2050) para alentar nuevos enfoques de colaboración entre países con miras a ampliar la investigación y el despliegue de tecnologías nucleares innovadoras que contribuyan a una canasta de energía sostenible. Otras iniciativas de la AEN, como el estudio en curso sobre sistemas de reactores avanzados, así como la labor sobre el mercado de electricidad que lleva a cabo conjuntamente con la Agencia Internacional de Energía (AIE) también apoyan este objetivo.

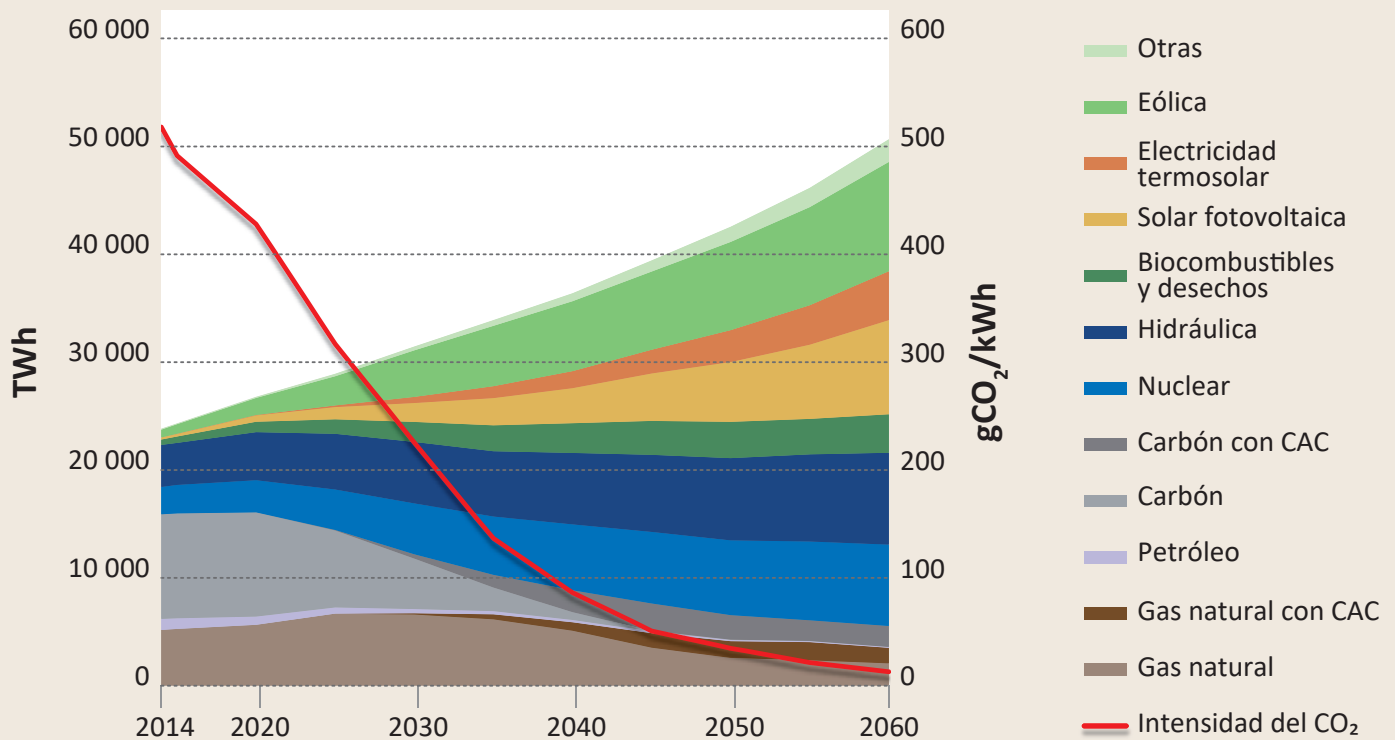


William D. Magwood IV es el Director General de la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) de la OCDE.

El núcleo del enfoque de la iniciativa NI2050 es aplicar estrategias multilaterales para promover un despliegue más eficaz de tecnologías nucleares innovadoras. Los enfoques multilaterales pueden, por medio de la determinación de prioridades, el establecimiento de unos cimientos comunes sólidos basados en la validación científica de las tecnologías y la definición de métodos de cualificación compartidos en apoyo de unos procesos de concesión de licencias robustos, crear la confianza necesaria para desplegar en todo el mundo tecnologías innovadoras.

Puesto que la seguridad es una prioridad que debe “integrarse” en las etapas tempranas del diseño de cualquier evolución tecnológica, es necesario que exista cierto nivel de interacción con las autoridades y los reguladores. La colaboración internacional entre organismos de seguridad es, probablemente, una de las vías más eficaces para obtener información temprana sobre los aspectos relacionados con la seguridad de cualquier innovación sin comprometer la independencia de la función reguladora. La AEN ya ofrece un marco de estas características por cuanto proporciona una plataforma amplia para el debate por conducto de sus distintos comités especializados. La iniciativa NI2050 ha seleccionado ahora un conjunto de esferas temáticas para elaborar “programas de acción decenales” sobre combustibles a prueba de accidentes, gestión de los conocimientos sobre accidentes severos, sistemas de seguridad pasiva, gestión

Generación de electricidad a escala mundial por fuentes



(Datos de Energy Technology Perspectives 2017, Agencia Internacional de Energía)

Actualmente, un tercio de la electricidad generada procede de fuentes de bajas emisiones de carbono. Si se alcanzan los objetivos mundiales para las emisiones de CO₂, este porcentaje aumentaría hasta prácticamente el 85 % para mediados del siglo.

Fuente: AEN

del envejecimiento de estructuras, combustibles y materiales avanzados, componentes avanzados, aspectos químicos del ciclo del combustible/reciclaje del combustible, producción de calor y cogeneración, modelización y simulación, digitalización y mediciones, infraestructuras y demostraciones. Al reunir a las partes interesadas alrededor de unas prioridades comunes, la iniciativa NI2050 podría impulsar la innovación en materia de tecnología nuclear, la condición más importante para que la energía nuclear desempeñe un papel en la canasta de energía sostenible del futuro.

Muchos países se enfrentan al desafío de ocuparse simultáneamente de un mercado de electricidad cuya complejidad va en aumento, una demanda de electricidad cada vez mayor y la necesidad de establecer políticas nacionales para reducir las emisiones de carbono. Sin unas capacidades

de innovación suficientes, los países que utilizan la tecnología nuclear pueden verse obligados a depender de países tecnológicamente más innovadores, con las correspondientes implicaciones para su soberanía en el terreno de la energía. Por este motivo, los gobiernos deben prestar especial atención a la dimensión estratégica general de la energía nucleoeléctrica, más allá de las dimensiones económica y medioambiental.

La innovación en materia de tecnología nuclear hoy requiere una mayor implicación y cooperación entre los países y los actores del sector nuclear a fin de aprovechar las competencias y los medios colectivos, crear una confianza sólida y robusta en las nuevas tecnologías, abrir el mercado internacional y atraer inversiones.

Harmony — el futuro de la electricidad

Agneta Rising

El programa Harmony de la Asociación Nuclear Mundial expone la visión de la industria nuclear mundial para el futuro de la electricidad. Su finalidad es ayudar al mundo a responder a los desafíos relacionados con la energía derivados del aumento de la demanda de electricidad y la necesidad de reducir las emisiones de gases de efecto invernadero y la contaminación del aire. Con este fin, la industria nuclear ha establecido que el objetivo de Harmony es que, para 2050, el 25 % de la electricidad mundial proceda de la energía nuclear. Para ello, será necesario construir nuevas instalaciones nucleares que permitan generar aproximadamente 1000 GWe.

La meta del programa se basa en el Escenario 2 °C de la Agencia Internacional de Energía, cuyo propósito es evitar las consecuencias más perjudiciales del cambio climático, lo que obliga a aumentar de forma importante la producción de energía nuclear. A fin de alcanzar esta meta, en el programa Harmony se prevé utilizar una combinación de tecnologías de bajas emisiones de carbono.

Las actuales contribuciones previstas determinadas a nivel nacional de los gobiernos —las medidas que los países acordaron adoptar en el marco del Acuerdo de París para frenar las emisiones de gases de efecto invernadero— son claramente insuficientes para alcanzar la meta de los 2 °C, y más aún para alcanzar 1,5 °C. Por lo tanto, el plan actual para afrontar el cambio climático no avanza según lo previsto y es necesario tomar medidas adicionales urgentes para reducir las emisiones. No obstante, solo se podrá alcanzar la meta del programa Harmony si se cumplen los siguientes objetivos.

Condiciones de competencia equitativas

Se ha demostrado que la energía nuclear es una fuente fiable, limpia y de carga base que ofrece importantes ventajas. Sin embargo, las centrales nucleares se enfrentan a una situación financiera complicada que está provocando el cierre anticipado de instalaciones que operacionalmente funcionaban bien y está limitando la inversión en nuevas centrales. Una combinación de factores, comprendidas las subvenciones y la prioridad de despacho de las energías renovables, ha provocado el fracaso comercial de la energía nucleoelectrónica.

El objetivo del programa Harmony es respaldar el establecimiento de unas condiciones de competencia equitativas en los mercados energéticos que tengan en cuenta los recursos energéticos de bajas emisiones de carbono existentes y que favorezcan la inversión en recursos adicionales de energía limpia; esas condiciones deberían velar por que la energía nuclear reciba el mismo trato que otras tecnologías de bajas emisiones y reconocer sus ventajas en una canasta de energía fiable de bajas emisiones de carbono.



Agneta Rising es la Directora General de la Asociación Nuclear Mundial.

Objetivo del programa Harmony: preparados para suministrar más energía nuclear que garantice el Escenario 2 °C



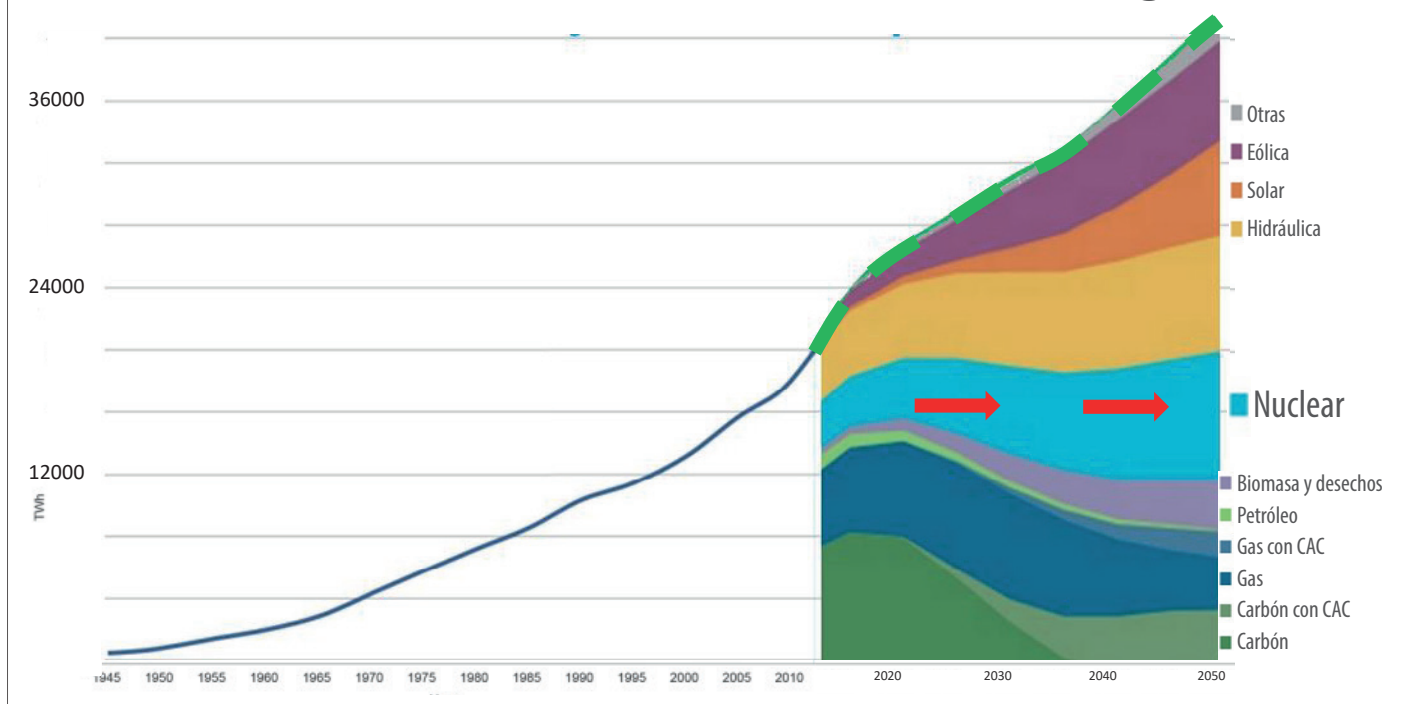
Nueva capacidad nuclear de 1000 gigavatios para 2050

25 % de suministro eléctrico en 2050

Energía nuclear para el suministro de electricidad fiable, asequible y limpia

Fuente: WNA

Escenario 2 °C de la AIE: combinación de fuentes de generación



Fuente: Bases de datos y análisis de la Agencia Internacional de Energía, 1945-1979; Administración de Información sobre Energía, 1980-2012

Puesto que se trata del único recurso de bajas emisiones de carbono cuya producción se puede aumentar para satisfacer la demanda real, la energía nucleoelectrónica también debería ser objeto de reconocimiento y compensación por la contribución que hace a la fiabilidad del sistema, así como por otras ventajas para el público.

Procesos reglamentarios armonizados

La seguridad nuclear es una responsabilidad nacional, lo que ha dado lugar a importantes diferencias en las disposiciones de concesión de licencias, ya que cada Estado elabora sus propios marcos reguladores, procesos de concesión de licencias y requisitos de seguridad. Si bien existe un mercado globalizado para los nuevos proyectos nucleares y la cadena de suministro, esta internacionalización no ha llegado a la reglamentación y la concesión de licencias. La armonización de los procesos reglamentarios, los requisitos de seguridad y los códigos y normas redundaría muy positivamente en las inversiones en nuevas construcciones, la ejecución de proyectos y la reducción de los costos, agilizaría la innovación y aumentaría la seguridad.

El programa Harmony tiene como objetivo promover procesos reglamentarios armonizados a fin de ofrecer un régimen de concesión de licencias más coherente, eficaz y previsible a nivel internacional que permita la adopción de soluciones normalizadas destinadas a facilitar un crecimiento notable de la capacidad nuclear, sin que la seguridad se vea comprometida.

Paradigma eficaz de seguridad

A pesar del buen historial de seguridad de la energía nuclear, la falta de confianza del público en algunos países está limitando su desarrollo. La energía nuclear es una de las energías con menor impacto global en la salud humana y el medio ambiente, hecho que no se ha logrado transmitir al público. Por consiguiente, debemos crear un paradigma eficaz de seguridad centrado en el bienestar genuino de la población, que tenga presentes los riesgos y beneficios de la energía nuclear en materia de salud, medio ambiente y seguridad, y que los evalúe de forma objetiva junto con los de otras tecnologías de generación de electricidad.

La necesidad de actuar

Aunque ambicioso, el objetivo del programa Harmony es factible. Para que la energía nuclear alcance dicho objetivo y el programa pueda ayudar al mundo a lograr la meta de los 2 °C, es necesario que en el próximo decenio aumente rápidamente la construcción de nuevas instalaciones nucleares hasta llegar a una tasa de conexión anual de 33 GWe, comparable a la alcanzada en el decenio de 1980. Los principales desafíos no radican en la producción —aunque sería necesario reforzar y crear capacidad de forma considerable— sino en recabar el apoyo normativo necesario y fomentar la confianza.

El programa Harmony de la Asociación Nuclear Mundial es un esfuerzo cooperativo de toda la comunidad nuclear que, junto con las partes interesadas clave, trabaja para adoptar las medidas necesarias a fin de que la energía nuclear pueda desempeñar su papel esencial en la tarea de hacer frente al desafío energético mundial.

La tecnología nuclear ayuda a Costa Rica a mejorar la inocuidad de los alimentos

Gracias, en parte, a la tecnología nuclear y al apoyo del OIEA y la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Costa Rica ya no depende de laboratorios extranjeros para garantizar la inocuidad de los alimentos y seguir siendo competitiva.

“Analizamos 310 muestras al mes, un 25 % más que hace dos años,” señala Yajaira Salazar, experta en inocuidad de los alimentos del Laboratorio Nacional de Servicios Veterinarios de Costa Rica (LANASEVE). La Sra. Salazar y sus colegas han participado en diversos cursos y becas de capacitación del OIEA y ya están en condiciones de analizar biotoxinas marinas y llevar a cabo actividades de gestión de la calidad, entre otras cosas.

Los plaguicidas, los residuos de medicamentos veterinarios, los metales pesados, las biotoxinas marinas y otros contaminantes orgánicos e inorgánicos pueden contaminar nuestros alimentos. “Para detectarlos, Costa Rica necesita las tecnologías más modernas y de mayor calidad atendidas por personal bien capacitado,” dice Marietta Ureña Brenes, Directora del LANASEVE. “Debemos mantenernos a la cabeza de la tecnología.”

Desde 2015, expertos del LANASEVE aprenden a utilizar la tecnología analítica nuclear y convencional más reciente para detectar contaminantes y residuos en los alimentos, y han recibido equipos de última generación y conocimientos especializados en el marco de un proyecto de cooperación técnica del OIEA. Estas mejoras en la esfera de la inocuidad de los alimentos han ayudado por igual a consumidores, productores y exportadores de Costa Rica.

Ganadería y pesca

Para la industria pesquera de Costa Rica, enviar las muestras al LANASEVE en lugar de a laboratorios extranjeros para su análisis supone un ahorro en términos de dinero y tiempo. Mientras que antes solía enviar casi 200 muestras al año a laboratorios del Ecuador y Chile para detectar posibles sustancias nocivas y cumplir las normas de la Unión Europea, ahora el LANASEVE analiza estas muestras en Heredia, al norte de San José, lo que le supone a cada productor un ahorro mínimo de 27 000 euros al año. La industria cárnica también se beneficia de

estos nuevos servicios analíticos. CIISA, una empresa costarricense que vende carne de vacuno y de cerdo en Costa Rica, los Estados Unidos de América, Rusia y Europa, entre otros, también depende de la excelente tecnología analítica isotópica y nuclear del LANASEVE para garantizar que sus productos son inocuos y cumplen los requisitos de los mercados.

La mejora de la capacidad del LANASEVE para vigilar la presencia de residuos de medicamentos veterinarios y contaminantes conexos en productos pecuarios mediante el empleo de técnicas nucleares o isotópicas, no solo ha impulsado la capacidad del país para mantener sus mercados de exportación de alimentos en la Unión Europea, los Estados Unidos y otros países de América Latina, sino que también ha facilitado la captación de nuevos mercados, como el de China.

Normas internacionales

El hecho de contar con la capacidad para garantizar la inocuidad de los alimentos a nivel local también ha supuesto un punto de inflexión para los exportadores. Además de afectar a la salud pública, la contaminación de los alimentos puede tener un efecto económico devastador en el comercio internacional.

“A nivel mundial, la tecnología es cada vez mejor en la detección de trazas muy pequeñas de residuos en los alimentos,” dice Mauricio González, otro experto en inocuidad de los alimentos del LANASEVE que también se ha formado a través del programa de cooperación técnica del OIEA. “Lo cual es bueno para los consumidores pero, a su vez, significa que los códigos son cada vez más estrictos para los exportadores.” La rápida evolución actual de las leyes internacionales en materia de inocuidad de los alimentos ha obligado a Costa Rica a adaptarse.

Mediante las nuevas técnicas aprendidas y el uso de los equipos analíticos nucleares facilitados, los expertos del LANASEVE pueden detectar trazas muy pequeñas de contaminantes, residuos médicos y plaguicidas presentes en las muestras de alimentos y cumplir así los requisitos internacionales. “Cuanto más sensible es el equipo, mejor podemos garantizar la ausencia de cualquier producto no deseado en nuestros alimentos,” señala el Sr. González.

Las nuevas capacidades también han ayudado al LANASEVE a acceder a otros ámbitos, como el análisis de una mayor variedad de productos pecuarios y alimentos importados. Gracias a las técnicas nucleares, por ejemplo, el equipo del LANASEVE detectó la presencia en productos pesqueros importados de verde malaquita, un tinte potencialmente cancerígeno que puede dañar el ADN. Tras estos resultados, Costa Rica interrumpió las importaciones de esos proveedores. Según James Jacob Sasanya, especialista en inocuidad de los alimentos en la División Mixta FAO/OIEA de Técnicas Nucleares en la Alimentación y la Agricultura, ejemplos como este demuestran por qué es necesario crear capacidades nacionales en materia de análisis de alimentos en laboratorios.

Bernardo Jaén Hernández, Director General del Servicio Nacional de Salud Animal (SENASA) de Costa Rica, del cual forma parte el LANASEVE, señala que “Costa Rica siempre ha trabajado para proteger la salud pública y para ello es necesario contar con capacidades sólidas que permitan comprobar qué produce, exporta o incluso importa el país.”

Raquel Scamilla Aledo, directora de estos proyectos en el OIEA, indica que un nuevo proyecto de cooperación técnica del OIEA apoyará al LANASEVE en su esfuerzo por seguir mejorando sus capacidades técnicas y analíticas. “Costa Rica ha solicitado, como una de sus prioridades de desarrollo nacional, más apoyo en el análisis de biotoxinas marinas, plaguicidas y medicamentos veterinarios que no están incluidos en el conjunto de pruebas que realiza actualmente. También tiene como objetivo aumentar los servicios de laboratorio a fin de cumplir los nuevos reglamentos de la Unión Europea y de otros mercados de exportación de alimentos.”

Junto con la FAO, el OIEA presta asistencia a los países en la adopción de técnicas nucleares y conexas que proporcionan una solución de base científica para regular la inocuidad de los alimentos, poniendo así los métodos analíticos a disposición de laboratorios de todo el mundo. Ello también comprende la irradiación de alimentos, el análisis de diversos contaminantes de los alimentos y del medio ambiente y la autenticidad de los alimentos.

— Laura Gil

Apoyo a la no proliferación nuclear: Ghana convierte un reactor de investigación para que utilice combustible de UPE en lugar de combustible de UME

Ghana ha completado con éxito la conversión de su único reactor de investigación para que utilice combustible de uranio poco enriquecido (UPE) en lugar de combustible de uranio muy enriquecido (UME), actividad que se ha llevado a cabo en el marco de un proyecto internacional apoyado por el OIEA para ayudar a reducir los riesgos de proliferación asociados al combustible de UME.

El UME es un material que puede emplearse para crear un dispositivo nuclear para su uso con fines dolosos, y desde 1978 están en marcha distintas actividades nacionales e internacionales encaminadas a convertir reactores de ensayo y de investigación para que utilicen combustible de UPE en lugar de combustible de UME, con el objetivo de reducir al mínimo el uso civil del UME y, en última instancia, eliminarlo.

El combustible de UME se repatrió a China

El proyecto de tres años, una iniciativa conjunta de la Comisión de Energía Atómica de Ghana (GAEC), la Autoridad de Energía Atómica de China (CAEA), la Administración Nacional de Seguridad Nuclear (NNSA) del Departamento de Energía (DOE) de los Estados Unidos de América y el OIEA, finalizó la semana pasada. Ghana se ha convertido en el primero de los cinco países que explotan reactores miniatura fuente de neutrones (MNSR) suministrados por China que convierte y repatria con éxito el núcleo de UME irradiado a China.

“Con este compromiso pionero, Ghana demostró que era posible convertir los MNSR fuera de China”, señala Kwame I. J. Aboh, responsable del proyecto de la GAEC. “Confiamos en que nuestro modelo de conversión y repatriación pueda aplicarse en operaciones similares en otros países que explotan instalaciones de este tipo.”

Con la conversión de UME a UPE, el nivel de enriquecimiento en uranio 235 pasa de más del 90 % a menos del 20 %, sin que ello afecte a las capacidades de investigación del reactor. En consecuencia, después de convertir el reactor, la GAEC sigue siendo capaz de mantener sus aplicaciones de investigación científica, enseñanza, capacitación e industriales basadas en instalaciones nucleares.

“Garantizar la sostenibilidad del funcionamiento de un MNSR con un

núcleo de UPE fue un factor clave del éxito del proyecto”, afirma Christophe Xerri, Director de la División del Ciclo del Combustible Nuclear y de Tecnología de los Desechos del OIEA. “Esta experiencia constituye un buen ejemplo de cooperación internacional para promover la ciencia nuclear y la capacitación práctica, y aborda al mismo tiempo los motivos de preocupación en materia de no proliferación y ofrece creación de capacidad.”

A fin de garantizar el éxito de la transferencia de conocimientos para futuros proyectos de conversión, se construyó un prototipo de vasija de MNSR para capacitar a los operadores en la instalación GHARR-1. Este prototipo se ha seguido desarrollando hasta dar lugar a un Centro de Capacitación para la Extracción del Núcleo de un MNSR a gran escala, disponible para impartir capacitación a operadores de otros países que poseen este tipo de reactores. “La Administración Nacional de Seguridad Nuclear es una firme partidaria del concepto que representan estos centros,” declara Dave Huizenga, Viceadministrador en funciones de No Proliferación Nuclear para la Defensa de la NNSA. “Este concepto permite aprovechar la experiencia adquirida en el proyecto piloto en Ghana y ofrece posibilidades de capacitación a gran escala para los operadores de MNSR que deban enfrentarse en el futuro a desafíos similares.”

En el verano de 2017 se celebraron dos reuniones destinadas a recopilar las enseñanzas extraídas de la ejecución del proyecto, que podrían ser de utilidad para la conversión de otros reactores a fin de que utilicen combustible de UPE. “Los resultados de estas reuniones fortalecerán el modelo de Ghana y apoyarán operaciones similares en el futuro,” afirma Lixin Shen, Director General Adjunto de la Autoridad de Energía Atómica de China.

Los MNSR diseñados por China

Los reactores de investigación del tipo MNSR fueron diseñados y fabricados por el Instituto de Energía Atómica de China, y el diseño original constaba de un núcleo compacto de 30 kW de potencia térmica que contenía aproximadamente 1 kg de UME enriquecido al 90 %.

Existen nueve instalaciones de MNSR diseñadas por China: cuatro, una de las cuales se ha convertido para utilizar combustible de UPE, están en ese

país, y las cinco restantes en Ghana, el Irán, Nigeria, el Pakistán y Siria, respectivamente. Estas instalaciones se utilizan fundamentalmente con fines de enseñanza y capacitación.

Tras el compromiso adquirido por el Gobierno de China, la Autoridad de Energía Atómica de China asumió la responsabilidad de llevar a cabo en primer lugar la conversión del prototipo de MNSR situado en China, y posteriormente colaboró con la GAEC para completar la conversión de GHARR-1 y repatriar el UME.

La asistencia del OIEA

La cooperación del OIEA con la comunidad de los MNSR se inició en 2006 con un proyecto coordinado de investigación para determinar la viabilidad técnica de convertirlos para que emplearan combustible de UPE.

A raíz de una petición de asistencia formulada por Ghana en 2014 para obtener un núcleo de UPE para la instalación GHARR-1 del país, la Sección de Reactores de Investigación del OIEA prestó apoyo para la conversión y retirada, llevó a cabo misiones de examen en el reactor de investigación GHARR-1 centradas en la seguridad, ofreció al organismo regulador capacitación en materia de licencias para cofres y celebró talleres sobre seguridad en el transporte.

Nigeria y Siria también han solicitado la asistencia del OIEA para convertir reactores y retirar núcleos de UME. El proyecto de Nigeria está previsto que concluya en 2018.

La Sra. Mary Alice Hayward, Directora General Adjunta, Jefa del Departamento de Administración, representó al Organismo en un evento relacionado con la devolución del UME organizado por las autoridades chinas y celebrado en Beijing, adonde acababa de llegar el combustible de UME. La Sra. Hayward declaró: “El OIEA se complace en prestar apoyo a nuestros Estados Miembros con la conversión del MNSR de Ghana y la devolución del combustible de UME del reactor a China. Este proyecto representa un hito importante en la iniciativa más amplia para reducir al mínimo la utilización de UME en instalaciones civiles, garantizando al mismo tiempo un acceso continuado a capacidades de investigación y de capacitación en materia nuclear.”

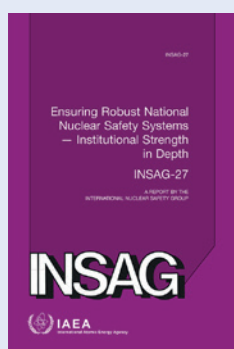
— Sandor Tozser



Situación y Perspectivas Internacionales de la Energía Nucleoeléctrica – 2017

La presente publicación analiza los factores que podrían influir en el futuro de la energía nucleoeeléctrica, como los fondos y la financiación, los mercados de electricidad y la aceptación por el público. En el documento se señala que, si crece el reconocimiento del potencial de la energía nucleoeeléctrica como fuente de energía con bajas emisiones de carbono y los diseños de reactores avanzados siguen mejorando tanto la seguridad como la gestión de desechos radiactivos, la utilización de energía nucleoeeléctrica podría crecer significativamente.

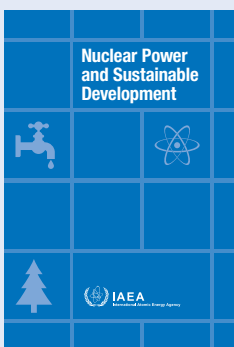
https://www.iaea.org/About/Policy/GC/GC61/GC61InfDocuments/English/gc61inf-8_en.pdf



Ensuring Robust National Nuclear Safety Systems — Institutional Strength in Depth

Esta publicación tiene por fin proporcionar una filosofía para orientar la reflexión sobre las estructuras institucionales necesarias para garantizar la seguridad nuclear. El texto hace referencia a tres importantes subsistemas institucionales —la industria, el órgano regulador y las partes interesadas— y describe las interrelaciones que habría que promover entre estos subsistemas, así como dentro de cada uno de ellos. La publicación está destinada a servir de instrumento fundamental en los esfuerzos constantes encaminados a fortalecer la seguridad nuclear.

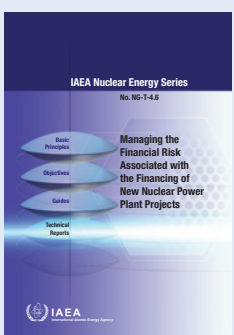
Colección del INSAG N° 27; ISBN: 978-92-0-102317-9; edición en inglés; 24,00 euros; 2017
<http://www-pub.iaea.org/books/iaeaabooks/11148/National-Nuclear-Safety-Systems>



Nuclear Power and Sustainable Development

En esta publicación se estudia la posible contribución de la energía nuclear para hacer frente a las cuestiones relativas al desarrollo sostenible por medio de una amplia selección de indicadores. Se analizan las características de la energía nucleoeeléctrica, en comparación con fuentes alternativas de suministro de electricidad, y en consonancia con los pilares económico, social y ambiental de la sostenibilidad. Las conclusiones que se resumen en la publicación ayudarán al lector a considerar, o reconsiderar, la contribución que puede efectuarse mediante el desarrollo y la explotación de las centrales nucleares para conseguir sistemas energéticos más sostenibles.

Publicaciones monográficas; ISBN: 978-92-0-107016-6; edición en inglés; 45,00 euros; 2016
<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11084/Sustainable-Development>



Managing the Financial Risk Associated with the Financing of New Nuclear Power Plant Projects

En esta publicación se pone de relieve cómo distintos riesgos, incluidos los que se suelen considerar “riesgos de ingeniería”, pueden generar riesgos financieros. También se resalta el vínculo que existe entre la determinación y reducción eficaz de los riesgos financieros y el costo de capital, y se exponen una serie de mecanismos que pueden emplearse para gestionar y asignar los riesgos eficazmente, reduciendo así al mínimo el costo de capital y mejorando los aspectos económicos del proyecto. A nivel práctico, la publicación proporciona información sobre los motivos de preocupación, la manera de pensar y el lenguaje que los defensores de construir nuevas instalaciones nucleares pueden esperar encontrar al tratar de obtener fondos de la comunidad financiera para desarrollar su proyecto.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NG-T-4.6; ISBN: 978-92-0-100317-1; edición en inglés; 32,00 euros; 2017

<http://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/11140/Financial-Risk>

El OIEA es una editorial puntera en la esfera nuclear. Entre sus más de 9000 publicaciones científicas y técnicas figuran normas de seguridad internacionales, guías técnicas, actas de conferencias e informes científicos. Abarcan la enorme variedad de las actividades del OIEA, con especial atención a la energía nucleoeeléctrica, la radioterapia, la seguridad nuclear tecnológica y física, y el derecho nuclear, entre otros ámbitos.

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, PO Box 100, A-1400 Viena (Austria)
 Correo electrónico: sales.publications@iaea.org

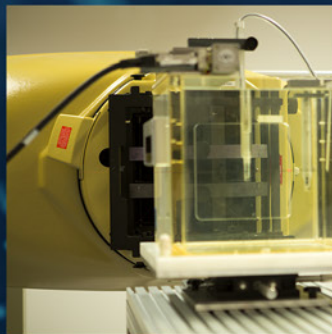
UNA PELÍCULA PARA CONMEMORAR EL 60º ANIVERSARIO DEL OIEA

ESTO ES EL OIEA

Y 8 PELÍCULAS MÁS SOBRE LA LABOR DEL ORGANISMO



Seguridad física
nuclear



Seguridad tecnológica
nuclear



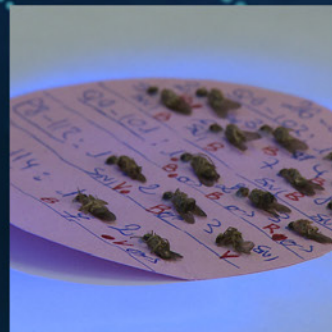
Energía



Salud



Fitomejoramiento



Control de plagas



Agua



Protección del
medio marino



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Átomos para la paz

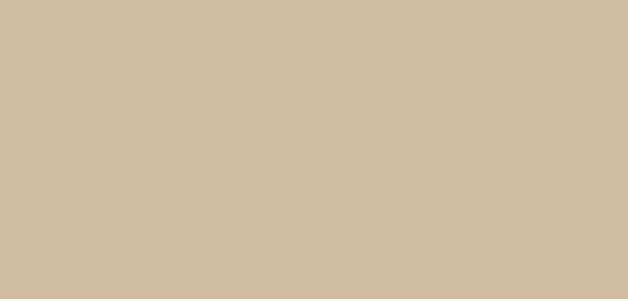
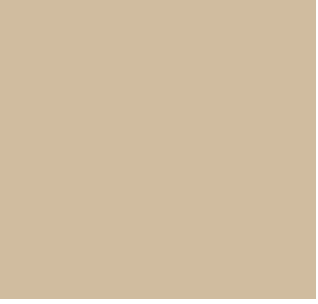
SI DESEA UNA COPIA DE LAS PELÍCULAS DEL OIEA,
SÍRVASE PONERSE EN CONTACTO CON:
MULTIMEDIA@IAEA.ORG

CONFERENCIA MINISTERIAL INTERNACIONAL

La Energía Nucleoeléctrica en el Siglo XXI

30 DE OCTUBRE A 1 DE NOVIEMBRE DE 2017, ABU DHABI (EMIRATOS ÁRABES UNIDOS)

#NucPower21



IAEA

60 años

Átomos para la paz y el desarrollo