



IAEA BULLETIN

ORGANISMO INTERNACIONAL DE ENERGÍA ATÓMICA

La publicación emblemática del OIEA | Junio de 2018

En línea en
www.iaea.org/bulletin



URANIO

De la prospección a la rehabilitación

Altos y bajos: los aspectos económicos de la extracción de uranio, pág. 4

El OIEA presenta un mapa mundial único del uranio, pág. 12

Nuevo Plan Maestro Estratégico para coordinar las actividades de rehabilitación de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central, pág. 20



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica
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
Vienna International Centre
PO Box 100, 1400 Viena (Austria)
Teléfono: (43-1) 2600-0
iaeabulletin@iaea.org

Editor: Miklos Gaspar
Redactora Jefa: Laura Gil
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: Orano

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 han sido elaboradas pensando en que sean aplicables a cualquier tipo de instalación o actividad nuclear destinada a fines pacíficos, así como a las medidas protectoras encaminadas a reducir los riesgos radiológicos existentes.

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

Asegurar el suministro tecnológica y físicamente seguro y sostenible del uranio

Yukiya Amano, Director General del OIEA

El uranio es el principal combustible que se emplea en la energía nucleoelectrónica, una tecnología clave de generación de electricidad con bajas emisiones de carbono. Actualmente, hay 451 reactores nucleares de potencia en funcionamiento en 30 países, que generan el 11 % de la electricidad mundial. Según las proyecciones del OIEA, es probable que la capacidad nucleoelectrónica mundial aumente para 2050, si bien queda por ver la magnitud de este incremento.

De acuerdo con las estimaciones, el mundo seguirá teniendo suficiente uranio durante varios decenios más. No obstante, a fin de evitar que escasee, es importante que su extracción, producción y gestión se realicen de manera sostenible. Las nuevas generaciones de reactores nucleares de potencia que, en función de la tecnología empleada, requieren menos uranio, incluidos los reactores pequeños y medianos o modulares, desempeñarán un papel clave en la gestión sostenible de este recurso vital.

Cada país debe decidir si opta o no por la energía nucleoelectrónica o si extrae o no uranio, decisiones a propósito de las cuales el OIEA se mantiene al margen. No obstante, si un país se decanta por la energía nucleoelectrónica o apuesta por explorar la posibilidad de producir uranio, nuestra labor consiste en ayudarlo a hacerlo en condiciones de seguridad tecnológica y física y de manera sostenible. La responsabilidad en materia de seguridad nuclear tecnológica y física también recae en los Estados, y la tarea del OIEA a este respecto consiste en reunir a los países para que lleguen a acuerdos sobre normas internacionales y extraigan enseñanzas de su respectiva experiencia. Por medio de nuestros servicios de asesoramiento, las misiones y el asesoramiento especializado, ayudamos a las autoridades nacionales a velar por que la manipulación del uranio se lleve a cabo en condiciones de seguridad tecnológica y física durante todo su ciclo de vida.

En la presente edición del *Boletín del OIEA* se examina la situación de la industria y su posible futuro, se describe la asistencia que el Organismo presta a los países en materia de extracción y tratamiento del uranio y rehabilitación de las minas, se presenta un panorama general de los aspectos económicos de la producción de uranio (página 4) y se incluye un estudio de caso sobre el desarrollo de un proyecto de extracción de uranio desde el principio en Tanzania (página 6). Asimismo, el lector encontrará información sobre

cómo se está aplicando el enfoque de los hitos del OIEA, una metodología que orienta a los países y las organizaciones para que trabajen de manera sistemática con miras a la introducción de la energía nucleoelectrónica, a la producción de uranio (página 10).



En otro artículo se exponen los detalles de un singular mapa de los yacimientos de uranio que el OIEA ha presentado recientemente (página 12). Expertos en salvaguardias del OIEA nos muestran un lado menos conocido de su labor en la esfera de la verificación nuclear: la aplicación de salvaguardias en las minas de uranio (página 14). Expertos en materia de transporte de Australia y Malawi hacen hincapié en la importancia de garantizar la seguridad tecnológica y física en el transporte del uranio (página 18). Y presentamos el Plan Maestro Estratégico, recientemente publicado, que establece el marco para la rehabilitación de antiguos emplazamientos de extracción de uranio en Asia Central (página 20). En la presente edición del *Boletín del OIEA* el lector también encontrará información sobre Oklo, una roca de dos mil millones de años de antigüedad que constituye el único reactor nuclear natural conocido del mundo (página 26), así como un panorama general sobre el futuro del uranio (página 24).

El Simposio Internacional sobre el Uranio como Materia Prima para el Ciclo del Combustible Nuclear: Prospección, Extracción, Producción, Oferta y Demanda, Aspectos Económicos y Cuestiones Ambientales reúne a expertos y partes interesadas de muchas esferas para debatir sobre las investigaciones más recientes y cuestiones actuales relacionadas con todos los aspectos de la parte inicial del ciclo del combustible nuclear.

Confío en que esta edición del *Boletín del OIEA* permita al lector hacerse una idea de esta esfera de la labor del Organismo, menos conocida pero fascinante e importante.



(Fotografía: C. Brady/OIEA)



(Fotografía: C. Brady/OIEA)

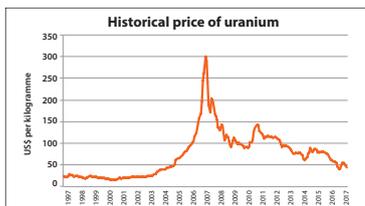


(Fotografía: Rosatom)

Prefacio



1 Asegurar el suministro tecnológica y físicamente seguro y sostenible del uranio



4 Altos y bajos: los aspectos económicos de la extracción de uranio



6 Cinco años después: los avances de Tanzania en la prospección de uranio



8 La extracción del uranio en detalle



10 Ensayado y comprobado: el enfoque de los hitos del OIEA se aplica actualmente a la producción de uranio



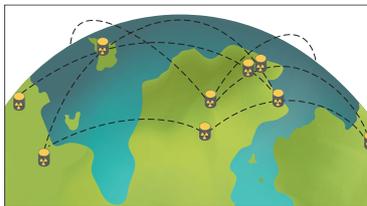
12 El OIEA presenta un mapa mundial único del uranio



14 Las salvaguardias del OIEA en las minas de uranio permiten tener una imagen más cabal de las actividades nucleares de un país



16 Fases de la extracción de uranio



18 Garantizar el transporte tecnológica y físicamente seguro del recurso natural esencial en la industria nuclear



20 Nuevo Plan Maestro Estratégico para coordinar las actividades de rehabilitación de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central



22 Lixiviación del uranio — Cómo se elabora la torta amarilla



24 El futuro del uranio como fuente de energía sostenible



26 Oklo, el único reactor nuclear natural conocido de la Tierra, de dos mil millones de años de antigüedad

Panorama mundial

28 La producción de uranio vista desde dentro: situación, perspectivas y desafíos

— Alexander Boytsov

Noticias del OIEA

30 El OIEA amplía la creación de capacidad para luchar contra el cáncer infantil

30 Una aplicación de juego en línea gana el concurso del OIEA dirigido a estudiantes

31 El OIEA pone en marcha el Nodo de Creación de Capacidad en materia de Energía Nuclear

32 Publicaciones

Altos y bajos: los aspectos económicos de la extracción de uranio

Miklos Gaspar y Noah Mayhew

La extracción de uranio es igual a la de cualquier otro metal base, afirman muchos directivos del sector: prospección, obtención de la licencia, excavación y posteriormente, cierre de la mina al final de su vida útil. Pero si se tienen en cuenta los aspectos de protección radiológica, gestión a largo plazo de los desechos radiactivos y la falta de apoyo público que caracteriza la extracción de uranio en algunos países, no cabe duda de que los desafíos que afronta la industria son mucho más complicados que en el caso de otros metales. Los aspectos económicos han sido igualmente complicados, con unos precios que en los últimos diez años aproximadamente han reflejado la mayor volatilidad registrada hasta la fecha: en 2007 el precio del uranio subió a 300 dólares de los Estados Unidos por kilogramo, y en 2016 se desplomó a 41 dólares por kilogramo (véase el cuadro).

“Durante los últimos años se ha generado un superávit de las existencias de concentrado de uranio, lo que ha provocado un descenso de los precios. Esto se debe a la combinación de una mayor producción y una reducción de la demanda”, afirma Brett Moldovan, especialista en producción de uranio en el OIEA. “La explotación de muchas de las minas al precio actual del uranio es un desafío a nivel económico”.

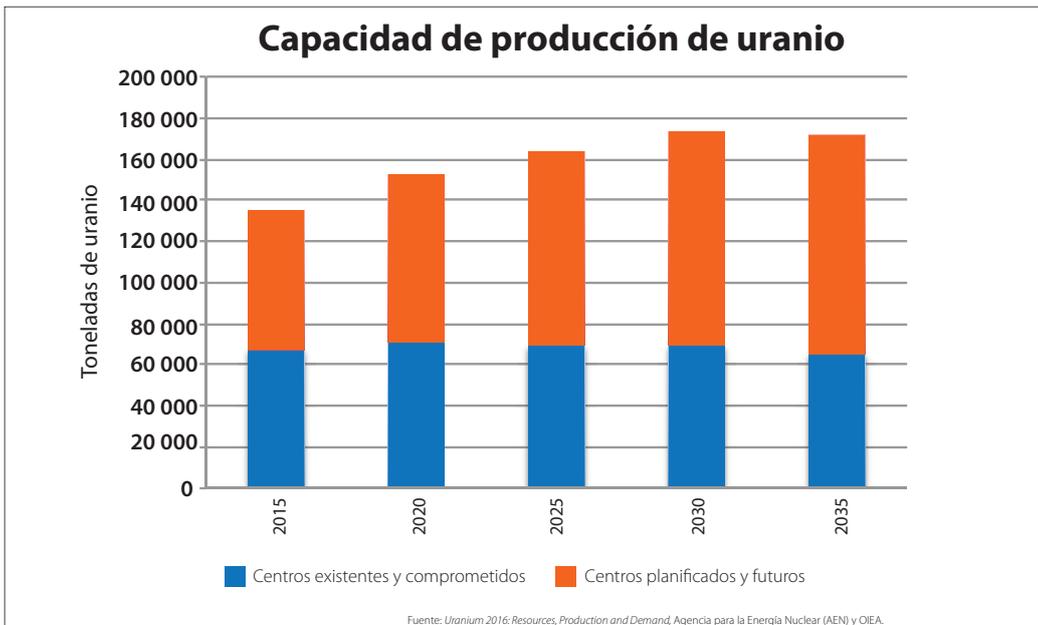
Con unos precios que rondan los 49 dólares por kilogramo en la actualidad, muchas de las minas de uranio más grandes del mundo están en modo de cuidado y mantenimiento. “Resultará económico ponerlas de nuevo en funcionamiento cuando el precio del uranio al contado esté por encima del costo de producción y cuando, según las previsiones, este precio se mantenga estable o aumente. El precio del uranio necesario para poner nuevamente en marcha una mina es diferente en cada caso, ya que los costos de explotación varían”, declara el Sr. Moldovan. “Las subidas de precio del uranio suelen ser breves, mientras que los precios bajos pueden durar decenios”.

La demanda de uranio viene determinada principalmente por la energía nucleoelectrónica. Actualmente hay en el mundo 451 centrales nucleares en funcionamiento y 59 en construcción, mientras que en 2017 se sometieron a régimen de parada permanente 5 centrales y el año anterior, 4. Según las predicciones del Agencia Internacional de Energía (AIE), el consumo mundial de energía aumentará un 18 % hasta 2030 y un 39 % hasta 2050, y la cuestión es cuál será la función de la energía nucleoelectrónica en la tarea de satisfacer esta creciente demanda.

Según la proyección baja del OIEA, la energía mundial generada por medios nucleares se reducirá poco a poco hasta 2040, y posteriormente recuperará los niveles actuales para 2050. Este escenario se ha diseñado específicamente para obtener una estimación conservadora. Según la proyección alta, se prevé un incremento de la capacidad de generación nucleoelectrónica con respecto a los niveles de 2016, que será del 42 % para 2030 y del 123 % para 2050. En esta proyección se presupone que el ritmo actual de crecimiento económico se mantendrá y aumentará el interés en la energía nucleoelectrónica, especialmente en Asia oriental.

Si bien el uranio constituye únicamente entre el 5 % y el 10 % del precio de la electricidad producida mediante energía nucleoelectrónica, es no obstante fundamental para la sostenibilidad de la industria a largo plazo. De acuerdo con la edición más reciente de *Uranium 2016: Resources, Production and Demand*—referencia mundial sobre el uranio elaborada conjuntamente por la Agencia de Energía Nuclear (AEN) y el OIEA—, el suministro primario mundial está garantizado hasta al menos 2035 en la proyección baja del crecimiento nuclear. Al actual nivel de demanda, los recursos conocidos e identificados son suficientes para aproximadamente 118 años e incluso más si se incluyen los recursos no descubiertos (véase el gráfico).





Invertir en una mina de uranio

Abrir una mina de uranio requiere una gran inversión de capital y es un largo proceso que suele demorar entre 10 y 15 años hasta que la mina empieza a funcionar. El costo del equipo para extraer y tratar el uranio hasta transformarlo en concentrado de uranio, actividades que se suelen realizar *in situ*, asciende a más de 100 millones de dólares y puede incluso alcanzar los miles de millones. Por consiguiente, tanto las empresas privadas como las entidades estatales deben estudiar detenidamente los aspectos económicos a largo plazo antes de abrir una mina. Muchos países que no tuvieron nunca minas de uranio, como Botswana y Tanzania, han recurrido a los conocimientos especializados y la asistencia del OIEA para crear la infraestructura necesaria y el marco jurídico, medioambiental y regulador aplicable a la apertura de minas. Las minas se encuentran en una fase avanzada de prospección, a la espera de un contexto económico más favorable.

La mayoría de los contratos en el sector del uranio son a largo plazo y en ellos se establecen precios máximos a fin de proteger a los clientes y precios mínimos para proteger las minas. Aunque los precios al contado afectan el precio global del mercado, este cambio se produce más lentamente. Dependiendo del precio del mercado actual y el nivel en que se encuentre el programa nucleoelectrico de un país, a veces puede resultar más rentable adquirir el uranio que extraerlo en el país.

Hay países que, como China y la India, explotan minas con el objetivo principal de garantizar la seguridad del suministro a escala nacional, en cuyo caso los aspectos económicos son

una consideración importante, pero secundaria. No obstante, en la actualidad, la mayor parte del uranio del mundo se extrae comercialmente. Países como Australia, Kazajstán y Namibia explotan minas a fin de exportar el uranio, mientras que otros como el Canadá lo hacen tanto para consumo interno como para la exportación.

¿Qué dice la bola de cristal? Que se prevé que la demanda de uranio aumente a largo plazo y, con ello, deberían aumentar también los precios. Pero es difícil predecir cuándo y cuánto, especialmente a la luz de las dudas que concita en la población de muchos países la inversión en energía nucleoelectrica.

“Soluciones que anteriormente aplicaba la industria, por ejemplo mediante el fortalecimiento de la responsabilidad social de las empresas u otros esfuerzos similares para promover la participación de los interesados, han perdido eficacia debido al grado de escepticismo público con respecto a las industrias de minerales en general”, afirma Hussein Allaboun, director de la empresa Jordanian Uranium Mining Company.

Jordania está entre los muchos países que consideran la posibilidad de producir uranio. Ha realizado estudios de viabilidad y ha construido una planta piloto para recopilar todos los datos industriales y técnicos necesarios. “El proyecto está concebido como uno de los componentes de un programa nacional de transformación de la energía nuclear, que responde a la necesidad del país de disponer de una fuente segura de energía”, manifiesta el Sr. Allaboun.

Cinco años después: los avances de Tanzania en la prospección de uranio

Aabha Dixit



Muestreo ambiental en el río Mkuju para medir las condiciones de radiación de fondo antes de empezar la extracción.

(Fotografía: Firmi P. Banzi/Comisión de Energía Atómica de Tanzania)

Tanzania se encuentra en una fase avanzada de prospección de uranio y tiene previsto iniciar las operaciones de extracción en su primer emplazamiento de extracción aprobado tan pronto como las condiciones económicas sean favorables y aumente el precio del uranio, según han declarado expertos locales. El OIEA ha prestado apoyo al país en la implantación de su programa de extracción de uranio, entre otras cosas, mediante una misión de asesoramiento realizada en 2013 para poner en marcha el proyecto.

“En el lapso de cinco años se ha avanzado mucho”, afirma Dennis A. Mwalongo, director del Departamento de Radiación Ionizante de la Comisión de Energía Atómica de Tanzania (TAEC). “El gobierno ha trabajado activamente para poner en práctica las recomendaciones del Grupo de Evaluación de Emplazamientos de Producción de Uranio (UPSAT) del OIEA, que comprenden la elaboración de medidas jurídicas y de reglamentación adecuadas que se ajusten a los requisitos internacionales”.

El gobierno ha completado la primera fase de construcción del complejo de laboratorios de la TAEC, que prestará servicios radioanalíticos y de calibración para apoyar la supervisión reglamentaria de la extracción de uranio en el país y el conjunto de la región, añade.

Implantar la extracción de uranio requiere una planificación a largo plazo, que incluye estudios de los emplazamientos de

prospección seleccionados, evaluaciones del suelo, actividades de sensibilización del público y creación de capacidad. “Para ello, la misión UPSAT del OIEA sentó las bases con una evaluación exhaustiva de las posibilidades de extracción de uranio en Tanzania”.

En el emplazamiento del río Mkuju, el proyecto más avanzado de producción de uranio de Tanzania, los recursos de uranio medidos y señalados ascienden a 36 000 toneladas y los recursos deducidos representan 10 000 toneladas. El Sr. Mwalongo añade que el encargado de la explotación del emplazamiento será Uranium One, una empresa de extracción de uranio rusa que tiene previsto producir anualmente 1400 toneladas de uranio. “La extracción de uranio contribuirá a lograr un desarrollo socioeconómico sostenible en Tanzania. Otro objetivo importante es acondicionar el puerto marítimo de Dar es Salaam para el transporte y la exportación de uranio”.

A fin de satisfacer su creciente demanda de energía, Tanzania prevé introducir la energía nucleoelectrica de conformidad con la Ley de Energía Atómica de 2003, que autoriza la utilización de uranio para producir electricidad. Esta Ley establece estrictas disposiciones para la utilización segura del uranio. La decisión convierte a Tanzania en el primer país de África oriental y central en condiciones de introducir la energía nucleoelectrica para generar electricidad.

Una misión UPSAT mejora los procedimientos internos

Las recomendaciones de la misión UPSAT del OIEA sirvieron de base para la adopción de decisiones fundamentales cuya finalidad es promover y establecer la producción del uranio, como el establecimiento de la infraestructura de reglamentación, legislación apropiada para la extracción segura de uranio y la armonización de los reglamentos para proteger a las personas y el medio ambiente.

Entretanto, la TAEC ha elaborado legislación aplicable a la prospección, la construcción, la extracción y el tratamiento, el embalaje y el transporte de uranio y la clausura final de los emplazamientos de minas de uranio identificados.

El gobierno ha establecido claramente directrices específicas sobre la gestión de materiales y desechos radiactivos y la protección de los trabajadores, el público y el medio ambiente, añade el Sr. Mwalongo.

La creación de capacidad, la formación basada en las competencias, los conocimientos especializados internacionales y el desarrollo de aptitudes específicas

estuvieron a cargo del OIEA, la Comisión Europea, la Comisión Reguladora Nuclear de los Estados Unidos y la Comisión Canadiense de Seguridad Nuclear.

Lograr la aceptación del público

La extracción de uranio es una actividad variada y compleja que requiere la participación de todos los interesados, incluido el público general.

Para ello, el gobierno ha realizado una serie de campañas y talleres de sensibilización del público destinados a aumentar la conciencia sobre los requisitos de reglamentación de la extracción de uranio. Entre los destinatarios de estas actividades de divulgación se encontraban funcionarios de la administración central y local, explotadores, la autoridad reguladora, organizaciones no gubernamentales, estudiantes, parlamentarios y la sociedad civil. El objetivo del marco de reglamentación es garantizar que el explotador lleve a cabo la extracción de uranio y su tratamiento de forma eficaz y sin comprometer la salud humana y el medio ambiente, sostiene el Sr. Mwalongo.



Primera fase de construcción del laboratorio de uranio de la Comisión de Energía Atómica de Tanzania.

(Fotografía: D. Mwalongo/Comisión de Energía Atómica de Tanzania)



El equipo del laboratorio de uranio incluye un sistema de espectrometría gamma que ayudará a las autoridades a evaluar adecuadamente el uranio encontrado en el país.

(Fotografía: D. Mwalongo/Comisión de Energía Atómica de Tanzania)



La extracción del uranio en detalle

Al igual que otros minerales, por lo general el uranio se extrae utilizando tecnología de minería a cielo abierto cuando el mineral está cerca de la superficie y se recurre a la minería subterránea cuando la profundidad es mayor. Para la extracción subterránea se requiere un alto grado de ventilación a fin de reducir la exposición de los trabajadores al gas radón, que se produce como resultado del decaimiento natural del uranio.

En general, la concentración de uranio en el mineral puede variar de unos cientos de partes por millón a un 20 %. El mineral se transporta desde las minas convencionales hasta las plantas de tratamiento, en las que se purifica y concentra para obtener óxido de uranio. Como alternativa a la minería a cielo abierto y la minería subterránea, y cuando la geología lo permite, se puede bombear agua subterránea con productos químicos añadidos a través del yacimiento de uranio para disolver el uranio en lo que se denominan operaciones de lixiviación *in situ*. Inyectando soluciones alcalinas, como las que se hacen con bicarbonato de sodio, o soluciones ácidas en el mineral a través de tuberías, los mineros separan el uranio del mineral subterráneo y bombean hasta la superficie la solución resultante para recuperar el uranio.

Cada año se producen cerca de 60 000 toneladas de uranio en todo el mundo. Los tres principales productores son Australia, el Canadá y Kazajstán, y juntos representan cerca de dos tercios de la producción mundial de uranio.

— *Aabha Dixit*



Mina de uranio de Rossing
(Namibia)
(Fotografía: C. Brady/OIEA)

Ensayado y comprobado: el enfoque de los hitos del OIEA se aplica actualmente a la producción de uranio

Ayhan Evrensel



Mina de uranio de Dolni Rozinka en la República Checa, uno de los aproximadamente 20 países productores de uranio.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

Prospección de uranio, estudios de viabilidad, diseño del proyecto, extracción, procesamiento y producción de uranio, transporte, clausura del proyecto y rehabilitación del emplazamiento. Listo. Parece fácil.

¿Pero es así de verdad?

Puede haber numerosos factores que influyen en este proceso de la producción de uranio, el elemento que se usa como combustible para producir energía nucleoelectrónica. De los 170 Estados Miembros del OIEA, alrededor de 20 participan actualmente en la producción de uranio, en distintas cantidades. Aproximadamente otros 10 Estados Miembros están realizando estudios sobre la posibilidad de producir uranio o los han finalizado.

¿Cómo sabrá un país “en fase de incorporación” o un país que quiere retomar la producción de uranio cómo hacerlo bien? ¿Qué medidas tendrán que adoptar, mucho antes de comprometerse, a fin de garantizar que la producción sea segura y sostenible?

Antes de iniciar o reiniciar la extracción y el procesamiento de uranio, es necesario estudiar toda una serie de cuestiones. El OIEA, a través de sus normas de seguridad, publicaciones, reuniones, redes y otros medios, ha estado

facilitando orientaciones sobre todas estas fases. Ha llegado el momento de consolidar todas estas orientaciones.

A petición de varios Estados Miembros, el OIEA ha empezado a preparar la aplicación de su enfoque de los hitos a la producción de uranio.

Los once años del enfoque de los hitos del OIEA

En 2007, en respuesta al creciente interés de los Estados Miembros por añadir la energía nucleoelectrónica a sus canastas de energía, el OIEA publicó su documento *Milestones in the Development of a National Infrastructure for Nuclear Power*. El período de tiempo que transcurre entre el momento en que un país empieza a estudiar la opción de introducir la energía nucleoelectrónica hasta que pone en funcionamiento su primera central nuclear oscila entre 10 y 15 años, por lo que en el enfoque de los hitos este período se divide en tres fases: estudio, preparación, construcción. En cada una de ellas, el país debe abordar 19 cuestiones claramente definidas, que comprenden desde el marco jurídico y regulatorio hasta el desarrollo de los recursos humanos, desde la participación de los interesados hasta la gestión de los desechos radiactivos.

En 2012 se adaptó este enfoque a los reactores de investigación, ya que varios Estados Miembros interesados en su construcción estaban buscando orientaciones

similares. De nuevo, en tres fases —estudio, preparación, construcción—, a su vez centradas en 19 cuestiones, la publicación *Specific Considerations and Milestones for a Research Reactor Project* pretendía ayudar a las autoridades nacionales a prepararse mejor para la explotación de reactores de investigación de forma sostenible y en condiciones de seguridad tecnológica y física.

En la actualidad se está preparando la aplicación de este enfoque a la producción de uranio. Ahora bien, empezar a extraer uranio por primera vez es muy distinto de empezar a utilizar la energía nucleoelectrónica o los reactores de investigación.

“En teoría, se puede importar cualquiera de estos reactores y construirlos o explotarlos en cualquier parte del mundo”, afirma Brett Moldovan, especialista en producción de uranio en el OIEA. “Pero el uranio está donde está, en el lugar donde se localiza. Queremos que los países nuevos en la producción de uranio entiendan que se trata de un proceso por etapas. Solo se sigue adelante si se encuentra algo que sea prometedor. Si resulta adecuado y es viable desde el punto de vista económico”.

Las cuatro etapas de la producción de uranio

Teniendo presentes esas consideraciones, en diciembre de 2016 se celebró una reunión en la que se puso en marcha la elaboración de un documento de orientación que actualmente está a punto de ultimarse.

Las orientaciones incluirán cuatro etapas en las que pueden encontrarse los Estados Miembros, cada una de las cuales tiene asociados hitos en cuanto a la preparación:

- países que estudian la posibilidad de prospectar o extraer uranio por primera vez o tras una pausa de muchos años, pero sin un proyecto identificado;
- países que quieren iniciar/revitalizar la extracción de uranio con uno o varios proyectos identificados;
- productores de uranio consolidados que desean aumentar su capacidad actual; y
- antiguos productores con emplazamientos cerrados/en fase de cierre y rehabilitación o actividades posteriores.

En el documento se presentarán elementos comunes y buenas prácticas y su finalidad es ayudar a los Estados Miembros a determinar esferas dentro de una determinada etapa para las que están menos preparados y ofrecer orientaciones para que puedan avanzar a una etapa posterior.

“Pero no se trata de etapas claramente delimitadas”, explica el Sr. Moldovan. “Es posible que un Estado Miembro se encuentre en más de una al mismo tiempo. E incluso con una excelente labor en la prospección de uranio, con buenas políticas, legislación, reglamentación y expertos bien preparados, puede suceder que un Estado Miembro no consiga pasar de la primera etapa sencillamente porque no se dispone de mineral de uranio”.

El propósito de este documento de orientación es mostrar a los Estados Miembros la mejor manera de localizar, extraer y procesar uranio, así como de descontaminar de forma segura los emplazamientos al final de su vida útil, añade el Sr. Moldovan. “Nuestro objetivo es ayudarlos a hacerlo correctamente”.



Túnel a 1200 metros de profundidad en la mina de uranio de Dolni Rozinka (República Checa).

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

El OIEA presenta un mapa mundial único del uranio

Florenca Caruso

El OIEA ha puesto en marcha un mapa digital exhaustivo, en línea, interactivo e integrado de la distribución y los yacimientos de uranio en todo el mundo. Esta segunda edición de la Base de Datos de la Distribución Mundial de Yacimientos de Uranio se elaboró a partir de contribuciones del Servicio Geológico de Saskatchewan, el Servicio Geológico de Australia Meridional y el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América.

Esta edición, en la que la información se clasifica por tipos de yacimientos, destaca por contener una gran cantidad de información y de conocimientos nuevos, ya que reúne datos de centenares de fuentes de libre acceso. Está disponible en línea para cualquier usuario e incluye distintos instrumentos interactivos avanzados.

“El objetivo era crear un mapa complejo que fuera muy sencillo de utilizar”, señala Martin Fairclough, especialista en producción de uranio en el OIEA y uno de los desarrolladores del mapa.

El mapa se ha creado para la gestión de las existencias y los recursos de uranio, la realización de estudios en el ámbito de la geociencia y la promoción del descubrimiento y el uso del uranio. Asimismo, proporciona datos pertinentes para la ejecución de programas nucleoelectrónicos en todo el mundo.

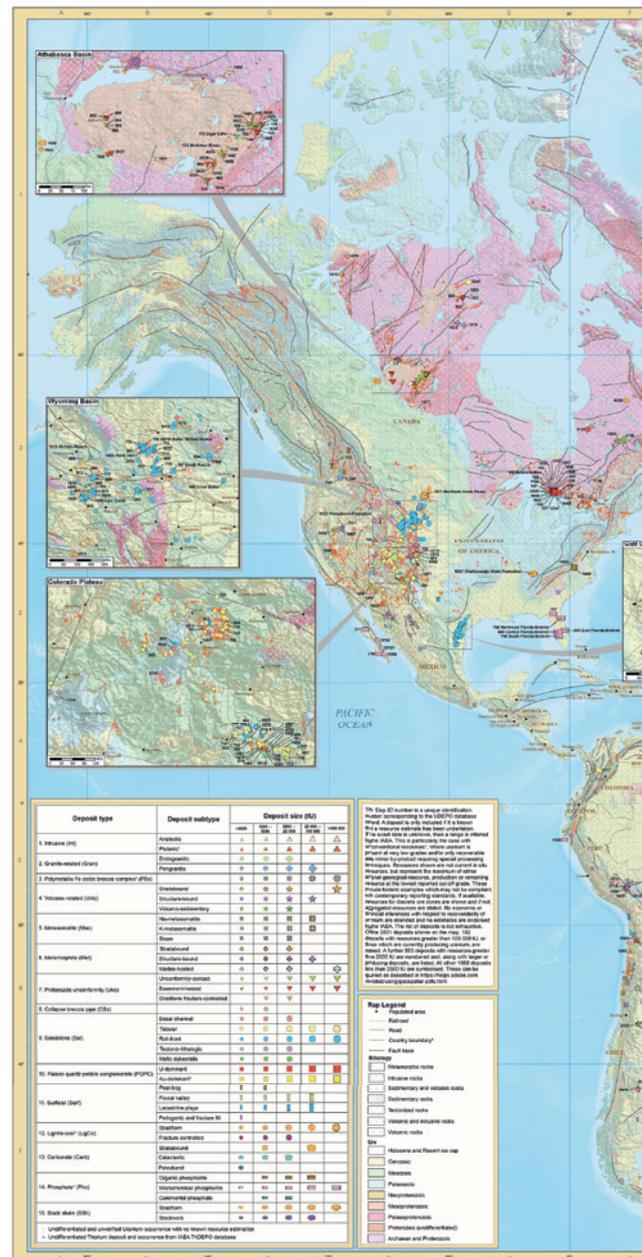
El mapa está basado en datos procedentes de la Base de Datos de la Distribución Mundial de Yacimientos de Uranio (UDEPO), descritos con más detalle en la publicación *Geological Classification of Uranium deposits and Description of Selected Examples* y en la edición de 2016 de la UDEPO del OIEA. La base de datos se actualiza constantemente e incluye información técnica e información geológica detallada sobre regiones, distritos y yacimientos. Ambos documentos, que complementan el mapa, pueden descargarse.

Desde la primera edición del mapa, publicada en 1995, la cantidad de material y la variedad de la información disponible en el mundo han crecido exponencialmente, al tiempo que mejoraban los conocimientos sobre los yacimientos de uranio. En aquella primera edición se enumeraban 582 yacimientos de uranio en todo el mundo; la actual incluye 2831.

“Este mapa, más reciente, es una instantánea de todos los conocimientos actuales: un cúmulo de información y una representación visual de datos extraídos de distintos documentos técnicos, todo ello resumido en un único lugar”, señala el Sr. Fairclough.

Lo que hace de este mapa algo único es la manera como presenta este enorme caudal de información. Clasifica los yacimientos de uranio en 15 tipos distintos, con sus

correspondientes subtipos. Para representarlos, se emplean distintos símbolos, que también muestran proporcionalmente el tamaño del yacimiento. Por ejemplo, una estrella simboliza todos los tipos de yacimiento de origen volcánico, mientras que el color y el tamaño de la estrella expresan, respectivamente, el subtipo y el tamaño del yacimiento en toneladas de uranio. Una estrella verde, por ejemplo, representaría un subtipo de yacimiento sedimentario de origen volcánico; cuanto mayor la estrella verde, mayor sería el tamaño del yacimiento.



Gracias a las funciones especiales del mapa, los usuarios pueden organizar y adaptar todos estos datos. Pueden activar o desactivar capas, haciéndolas visibles u ocultándolas. Por ejemplo, pueden decidir que se muestre un tipo de yacimiento de uranio y se oculten los 14 restantes, y a continuación imprimir la versión con los datos escogidos exactos que están buscando. De este modo, un único producto, el mapa, contiene un gran caudal de información clasificada de tal manera que los usuarios pueden elaborar rápidamente un documento que contenga exactamente lo que buscan.

Otra característica singular es que los usuarios pueden hacer clic en un yacimiento específico para ver, en formato texto, información relacionada con este. El mapa contiene igualmente un fondo en relieve sombreado que simula la topografía y resalta las relaciones entre la geología y los yacimientos.

El mapa puede consultarse aquí:
<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12314/World-Distribution-of-Uranium-Deposits-Second-Edition>

Panorama general del mapa de la distribución mundial de yacimientos de uranio, segunda edición, 2018.

(Fotografía: OIEA)



Las salvaguardias del OIEA en las minas de uranio permiten tener una imagen más cabal de las actividades nucleares de un país

Matt Fisher



Inspectores de salvaguardias del OIEA visitan una mina de uranio.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

Las salvaguardias del OIEA desempeñan un papel fundamental en la tarea de prevenir la proliferación de las armas nucleares al asegurar que los materiales nucleares siguen adscritos a usos pacíficos. En las minas y las instalaciones de tratamiento de uranio se manipulan grandes cantidades de este elemento; unas y otras están sujetas a las actividades de verificación que lleva a cabo el OIEA en Estados con protocolos adicionales a sus acuerdos de salvaguardias amplias.

“La verificación en las minas de uranio se efectúa en el contexto del análisis de coherencia”, señala Russell Leslie, experto en salvaguardias del OIEA. “La información que se obtiene durante el acceso de los inspectores del OIEA a las minas y las instalaciones de tratamiento de uranio se coteja con las declaraciones de los Estados y se compara con el resto de información de importancia para las salvaguardias a disposición del OIEA, incluidas las actividades de inspección en el Estado, a fin de garantizar que este cumple con sus obligaciones en materia de salvaguardias.”

Los Estados aceptan las salvaguardias concertando acuerdos de salvaguardias. Los inspectores de salvaguardias solo llevan a cabo actividades de verificación en minas de uranio de países que han puesto en vigor un protocolo adicional a su acuerdo de salvaguardias amplias. El protocolo adicional fortalece la capacidad de verificación del OIEA al introducir medidas adicionales, como una mayor información sobre las actividades del ciclo del

combustible nuclear de un Estado y el acceso físico a los lugares pertinentes de este, con miras a mejorar la eficacia y la eficiencia de las salvaguardias. Hasta la fecha, 132 Estados cuentan con un protocolo adicional en vigor, incluidos todos los países con minas de uranio en funcionamiento.

Estos países están obligados a proporcionar al OIEA información ampliada sobre sus actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear, así como acceso a los lugares pertinentes, como minas de uranio y plantas de concentración de uranio y torio. De este modo, el OIEA puede crear más confianza en la naturaleza pacífica del programa nuclear del país.

En virtud del protocolo adicional, los inspectores recopilan información sobre la ubicación y el estado operacional de las minas y las plantas de tratamiento de uranio y estiman la capacidad de producción anual total de las plantas de concentración de uranio. Para verificar la exactitud de esta información, el OIEA puede llevar a cabo lo que se conoce como acceso complementario a las minas y las plantas de tratamiento pertinentes, con miras a proporcionar garantías adicionales de la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados.

“La finalidad de las actividades de acceso complementario es obtener unas estimaciones razonables del volumen de producción”, afirma el Sr. Leslie.

En Australia, uno de los mayores productores de uranio del mundo, el OIEA ha realizado, de media, un acceso complementario a una mina de uranio activa cada año. Durante las actividades de acceso complementario, los inspectores nacionales de la Oficina Australiana de Salvaguardias y No Proliferación acompañan a los inspectores del OIEA en la visita a las minas y las plantas de tratamiento de uranio. Antes de la inspección, se informa a los inspectores del OIEA del estado de la mina.

Durante el acceso complementario a minas y plantas de tratamiento de uranio, los inspectores del OIEA pueden llevar a cabo observaciones oculares, recoger muestras, efectuar mediciones mediante análisis no destructivos y examinar los registros de producción y envío de uranio. El OIEA puede efectuar estas actividades avisando a las autoridades nacionales con una antelación de tan solo 24 horas.

La observación ocular incluye un examen de la mina así como de la infraestructura de la planta. Durante la recogida de muestras, se toman con fines de análisis pequeñas cantidades de mineral de uranio y de concentrado de mineral de uranio procesado, así como muestras ambientales, que se obtienen pasando gasas de algodón por distintas superficies de la mina y precintando dichas gasas para su verificación en el laboratorio.

“El análisis del concentrado de mineral proporciona información más útil que el análisis del producto sin refinar, cuya pureza puede variar considerablemente en función de la mina de la que proceda”, señala el Sr. Leslie. El concentrado de mineral ofrece datos cruciales que son importantes para el análisis de coherencia y para hacerse una mejor idea global de las actividades nucleares del país, añade.

El análisis no destructivo es una técnica que se emplea para analizar la “firma” radiactiva del material nuclear, y en la que se utilizan instrumentos como los detectores de rayos gamma. Mediante esta técnica, los inspectores pueden confirmar *in situ* la naturaleza específica de los materiales nucleares presentes en la mina.

El examen de los registros, que se lleva a cabo junto con el personal de la mina, incluye un examen de la actividad de extracción previa, así como de la información sobre las actividades actuales. El Sr. Leslie indica que, en el proceso de verificación, también pueden utilizarse imágenes de satélite.

Además de ratificar la ausencia de materiales y actividades nucleares no declarados, el acceso complementario a las minas de uranio se utiliza para confirmar el estado de las minas que está previsto clausurar o para verificar si una mina sigue abierta y en funcionamiento.

Inspectores de salvaguardias visitan una instalación de almacenamiento de uranio.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)



FASES DE LA EXTRACCIÓN



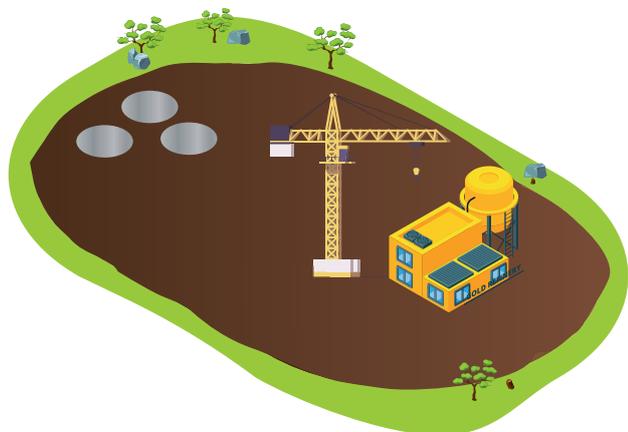
PROSPECCIÓN

10 a 15 años



VIABILIDAD

1 a 3 años



CONSTRUCCIÓN DE LA MINA

1 a 3 años



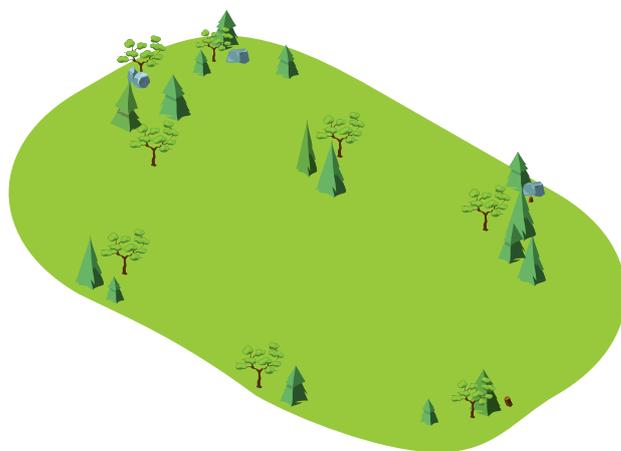
EXTRACCIÓN Y PROCESAMIENTO

5 a 50 años



REHABILITACIÓN

2 a 10 años (+ cuidados posteriores)



Garantizar el transporte tecnológica y físicamente seguro del recurso natural esencial en la industria nuclear

Nicole Jawerth

Los envíos de uranio son como los viajeros VIP: se hacen por tierra, mar o aire y tienen escalas como cualquier otro viajante, pero por su influencia a escala mundial y el atractivo que tienen para los delincuentes, cada detalle del viaje se concibe de manera que se garantice la seguridad tecnológica y física en cada etapa de la ruta.

“Solo unos cuantos países producen uranio, que es el elemento necesario para producir el combustible que utilizan la mayoría de centrales nucleares de todo el mundo, motivo por el cual constituye un bien estratégico de alto valor”, explica Robert Floyd, Director General de la Oficina Australiana de Salvaguardias y No Proliferación (ASNO). “Teniendo en cuenta la necesidad de transportar uranio en todo el mundo, es importante que se mantengan las más estrictas normas a escala internacional”.

Más del 80 % del uranio que se utiliza en el planeta es producido por solo cinco países. De los 30 países que explotan 451 reactores nucleares de potencia, pocos producen su propio uranio, lo que significa que cada año se envían normalmente más de 50 000 toneladas de concentrado de uranio.

El uranio es un elemento radiactivo natural. El concentrado de uranio, o torta amarilla, es polvo concentrado de uranio en cuya elaboración se eliminan las impurezas del mineral de uranio puro (para más información sobre cómo se elabora la torta amarilla, véase la página 23). La mayoría del uranio se envía como torta amarilla porque es más rentable que transportar el mineral de uranio sin refinar.

Si bien la torta amarilla entraña un riesgo radiológico mínimo, es igualmente necesario un tratamiento seguro. “Desde el punto de vista de la seguridad tecnológica, solo se precisan medidas de protección radiológica básicas”, dice Eric Reber, especialista en seguridad del transporte en el OIEA.

Desde el punto de vista de la seguridad física, explica David Ladsous, oficial superior de seguridad física nuclear en el OIEA, “las medidas de protección garantizan que el uranio no caiga en manos equivocadas. Revisten especial importancia debido al gran valor económico y estratégico del uranio, que puede inducir al robo o al sabotaje”.

El OIEA colabora con autoridades de todo el mundo para capacitar al personal y ayudar a elaborar reglamentos nacionales de seguridad tecnológica y física para el transporte de uranio. Los reglamentos nacionales para la seguridad tecnológica y física de los materiales nucleares deberían concebirse de manera que se ajustaran a las normas internacionales y se integraran en un régimen mundial de

seguridad tecnológica y física, dice el Sr. Reber. Este esfuerzo conjunto abarca todo el proceso de transporte, desde la producción y el embalaje hasta las rutas de transporte y la entrega. También abarca posibles cuestiones como la piratería.

“Aunque el transporte de la torta amarilla supone un riesgo relativamente más bajo que otras partes del ciclo del combustible nuclear, es fundamental que existan altos niveles de seguridad tecnológica y física para crear confianza a escala nacional e internacional en la industria nuclear en su conjunto”, afirma el Sr. Floyd.

Crear confianza para una industria del uranio estable

En parte, la confianza se basa en estos reglamentos nacionales y normas internacionales, ya que su existencia significa que todos los países que participan en la cadena de suministro operan con los mismos altos niveles de seguridad tecnológica y física, expresa el Sr. Ladsous. Esto es especialmente importante en el caso de los nuevos o pequeños productores de uranio y de países que, como Malawi, están tratando de reincorporarse a la industria del uranio.

“Hasta hace poco, uno de nuestros mayores desafíos era la posibilidad de que otros países consideraran que nuestra autoridad provisional competente, el Departamento de Asuntos Ambientales, no tenía un mandato aceptable en el transporte de materiales radiactivos, incluida la torta amarilla, por lo que algunos envíos podrían, en ocasiones, ser rechazados”, comenta Burnett Msika, ingeniero jefe de minas del Departamento de Minas del Ministerio de Recursos Naturales, Energía y Minas de Malawi.

A pesar de que en 2014 Malawi cerró temporalmente su única mina después de cinco años en funcionamiento a causa de un desplome de los precios del uranio y de los altos costos de explotación, el país está actualizando activamente sus reglamentos y ofreciendo capacitación al personal con apoyo del OIEA con el objetivo de preparar la reanudación de la extracción de uranio.

“Esta es una de las razones por las que, a través del Departamento de Asuntos Ambientales, hemos puesto en funcionamiento nuestra autoridad nacional reguladora de energía atómica y estamos creando y fortaleciendo recursos humanos y mejorando la colaboración con los reguladores en todo el proceso de transporte”, dice el Sr. Msika.

En el caso de exportadores que tienen más experiencia, como Australia —tercer mayor productor de uranio y

país en el que se encuentran los mayores yacimientos de uranio del mundo— la atención se centra en mantener la confianza como exportadores de energía fiables.

Australia revisa y actualiza constantemente sus reglamentos y permisos y ofrece formación al personal para garantizar que sus 8000 toneladas de exportaciones anuales lleguen a su destino final, explica el Sr. Floyd. Cada estado y territorio australiano dispone de reglamentos y códigos de transporte adicionales. En conjunto, todos ellos establecen los requisitos aplicables al embalaje, el medio de transporte, las rutas y la seguridad tecnológica y física del transporte de torta amarilla.

La coordinación de esta labor a todos los niveles estatales y federales es particularmente importante para un país de ese tamaño. “Australia es el sexto país más grande del mundo, por lo que uno de los mayores desafíos al que nos enfrentamos son las grandes distancias, a menudo cruzando enormes zonas remotas”. Si se produce un incidente, la ayuda puede tardar mucho tiempo en llegar. Es importante estar preparado y mantener una comunicación continua, ser autosuficiente y disponer de los instrumentos adecuados”, dice el Sr. Floyd.

Las autoridades australianas tienen previsto continuar su estrecha colaboración con el OIEA a fin de fortalecer más el régimen de transporte del país. Entre las medidas que habrá que adoptar en el futuro se encuentran la elaboración de una lista consolidada de los recursos nacionales disponibles en caso de incidente, la mejora de los materiales de capacitación y la elaboración de una guía modelo para los planes de transporte de torta amarilla a fin de conocer mejor los nuevos proyectos de extracción.



Nuevo Plan Maestro Estratégico para coordinar las actividades de rehabilitación de los antiguos emplazamientos de producción de uranio en Asia Central

Mariam Arghamanyan

En mayo de 2018 se publicó un Plan Maestro Estratégico cuya finalidad es ayudar a acelerar los esfuerzos de rehabilitación de antiguas minas de uranio en Asia Central. Si se dispone de la financiación necesaria, los emplazamientos de máxima prioridad pueden rehabilitarse en unos pocos años.

Con el nuevo plan, diseñado bajo el liderazgo del OIEA en colaboración con expertos de la región y organizaciones internacionales, se crea un marco para la realización de actividades de rehabilitación de forma oportuna, coordinada, efectiva en relación con los costos y sostenible. Sobre la base de evaluaciones del impacto ambiental y estudios de viabilidad financiados por la Unión Europea y de estudios realizados por el organismo nacional de energía de Rusia, Rosatom, en el plan se determinan puntos críticos y prioridades de rehabilitación en la región. En él figuran asimismo evaluaciones de riesgos y estimaciones de los costos.

Los antiguos emplazamientos de extracción de uranio están situados en la zona del valle del Ferganá, una de las zonas más fértiles y densamente pobladas de Asia Central, donde habitan 14 millones de personas. Su río Syr Darya es uno de los principales de la región. Entre los objetivos de los proyectos que se destacan en el Plan Maestro Estratégico figura la promoción de la cooperación regional y una contribución a una mayor estabilidad y seguridad en la región.

En el documento se identifican como máxima prioridad de rehabilitación siete antiguos emplazamientos de producción de uranio en Kirguistán, Tayikistán y Uzbekistán (véase el mapa). Todavía se necesitan alrededor de 130 millones de euros para financiar la rehabilitación, además de los 30 millones de euros ya recaudados. La Comisión Europea prevé celebrar una conferencia de alto nivel sobre promesas de contribuciones para finales de 2018 para conseguir contribuciones destinadas a la cuenta para la rehabilitación ambiental de Asia Central. Esta cuenta, gestionada por el Banco Europeo de Reconstrucción y Desarrollo, se utilizará para financiar las actividades de rehabilitación de los siete emplazamientos.

Ya se han llevado a cabo algunas actividades de rehabilitación a escala local y regional pero, debido a la limitación de recursos, se han centrado en contener la contaminación en lugar de eliminarla. En otros emplazamientos de la región se han puesto en marcha actividades preliminares de rehabilitación supervisadas por Rosatom.

“El plan constituirá una hoja de ruta que permitirá hacer el mejor uso posible de los limitados recursos disponibles para la rehabilitación a escala nacional, regional e internacional, para lo cual vinculará estas actividades con objetivos declarados y acordados de forma explícita”, afirma Michelle Roberts,

Las plantas de tratamiento de uranio producen colas, un subproducto arenoso que contiene metales pesados y radio. Esta imagen muestra colas en el antiguo emplazamiento de producción de uranio de Degmay (Tayikistán).

(Fotografía: M. Roberts/OIEA)



especialista en seguridad de los desechos en el OIEA a cargo del programa.

El plan se revisará, reevaluará y actualizará periódicamente a fin de plasmar con precisión los avances y las prioridades del programa, aclara.

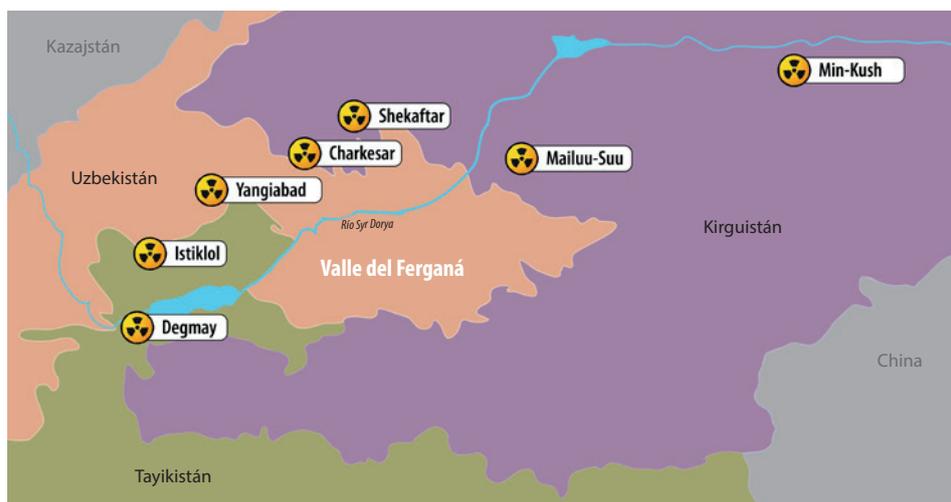
El legado de las actividades de extracción

Los emplazamientos de extracción de uranio se construyeron a mediados de la década de 1940, un momento en que existían pocas disposiciones en materia de reglamentación para la eventual gestión del final de la vida útil. Tras varias décadas en uso, los emplazamientos se cerraron en el decenio de 1990. Estas minas, y la infraestructura para el procesamiento de uranio en los emplazamientos, todavía contienen residuos de contaminantes químicos radiactivos y altamente tóxicos.

Los niveles medios de dosis gamma en los emplazamientos oscilan entre 0,30 y 4,0 microsieverts por hora, lo que equivale a una exposición de entre media hora y cuatro horas de radiación de fondo natural global media. No obstante, una serie de factores podrían provocar la acumulación o dispersión de la contaminación.

“Situados en una región de actividad sísmica propensa a terremotos, desprendimientos e inundaciones, seguirá habiendo riesgo de emisiones de material contaminado a los ríos hasta que los emplazamientos hayan sido rehabilitados”, explica Baigabyl Tolongutov, Director del Centro para la Reglamentación Estatal de la Protección Medioambiental y la Seguridad Ecológica de Kirguistán.

Según el Sr. Tolongutov, una emisión de esa magnitud podría dar lugar a restricciones de larga duración en el uso del agua, lo que provocaría una importante escasez de agua con consecuencias para la salud de las personas y la economía. También podría afectar a la estabilidad y la seguridad de la



Antiguos emplazamientos de extracción de uranio en los que, de acuerdo con el Plan Maestro Estratégico, se realizarán actividades de rehabilitación.

(Fuente: Plan Maestro Estratégico)

región, especialmente en el caso de transporte transfronterizo de materiales radiactivos o tóxicos.

La resolución de las Naciones Unidas

En 2013 la Asamblea General de las Naciones Unidas reconoció en una resolución que era necesario un enfoque coordinado respecto de la rehabilitación y subrayó que era responsabilidad de la comunidad internacional impedir la amenaza radiológica en Asia Central. Gestionar el problema de las antiguas minas de uranio es también fundamental para lograr los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas, subraya el Sr. Tolongutov. “El programa de rehabilitación contribuirá al desarrollo socioeconómico a largo plazo mediante la ampliación de competencias y el aumento del empleo”.

El plan ha sido elaborado por la Secretaría del Grupo de Coordinación para Antiguos Emplazamientos de Producción de Uranio del OIEA, cofinanciado por la Unión Europea.



Torta amarilla saliendo del filtro prensa.

(Fotografía: Orano)



Lixiviación del uranio

Cómo se elabora la torta amarilla

Cuando se extrae uranio de la tierra, la mena o roca suele contener únicamente alrededor del 0,1 % de uranio. Tradicionalmente, para extraerlo se retira en primer lugar la mena del suelo y se tritura. Posteriormente, el mineral triturado se muele en agua hasta producir una lechada que tiene la misma consistencia que la arena de playa o incluso polvos de talco mezclados con agua. Esta lechada se mezcla normalmente con ácido sulfúrico a fin de disolver el uranio, mientras que las partículas de roca restantes y la mayoría de los demás minerales quedan sin disolver, lo que recibe el nombre de colas.

Otro método de extracción recibe el nombre de lixiviación *in situ*, en el cual el uranio se extrae directamente de la mena, sin interferir demasiado con el suelo. En la actualidad casi la mitad de la producción mundial se obtiene mediante este tipo de extracción. En la lixiviación *in situ* se añade a aguas subterráneas ácido o álcali y un oxidante; esta mezcla se inyecta en la mena de uranio, por donde circula y disuelve el uranio. Después, la solución que contiene el uranio disuelto se bombea hasta la superficie para seguir con su procesamiento.

En ambos métodos de extracción se produce un líquido que contiene uranio disuelto. Si es necesario, se filtra cualquier resto de colas. El uranio se precipita a partir del líquido, se filtra y se seca hasta producir un concentrado de óxido de uranio, que a continuación se guarda en bidones sellados. Este concentrado polvoroso puede ser de color amarillo vivo (por este motivo se conoce como “torta amarilla”) o, cuando se seca a elevadas temperaturas, verde oscuro.

Si la torta amarilla se sigue procesando y, en la mayoría de los casos, se enriquece, es posible transformarla en combustible nuclear. Todos los países en los que se extrae uranio producen torta amarilla, cuyo nivel de radiactividad es bajo.

— Laura Gil

El futuro del uranio como fuente de energía sostenible

Noah Mayhew



El concentrado de uranio se coloca en bidones de acero especiales herméticamente cerrados, de tamaño similar a los barriles de petróleo. Cuando están llenos, cada uno pesa menos de 350 kilogramos.

(Fotografía: D. Calma/OIEA)

Según la Agencia Internacional de Energía, el consumo de energía a nivel mundial podría experimentar un aumento de hasta el 18 % para 2030 y del 39 % para 2050, lo que incrementará la demanda de distintas fuentes de energía, incluida la energía nucleoelectrica y, por lo tanto, el uranio.

“A medida que se ponen en marcha nuevos reactores de potencia y otros se retiran, la gestión y el suministro adecuados del uranio pasarán a ser un factor crítico en el abastecimiento energético durante los próximos decenios”, dice Adrienne Hanly, especialista en fuentes de uranio del OIEA. “Se prevé que el combustible de uranio siga siendo una fuente básica y fiable para la generación de energía nucleoelectrica con bajas emisiones de carbono. La manera en la que utilizemos este combustible dependerá en gran medida del desarrollo de nuevas tecnologías y estrategias para la gestión sostenible de los recursos”.

Incluso en la hipótesis baja del OIEA sobre el futuro de la energía nucleoelectrica, según la cual el porcentaje de energía nuclear en el mercado energético caería del 11 % actual a apenas el 6 % para 2050, se prevé un aumento del 24 % de la capacidad de generación nucleoelectrica. Según la hipótesis alta, el uso de la energía nucleoelectrica se incrementaría 2,8 veces y el porcentaje de la energía nuclear en el mercado energético mundial alcanzaría el 13,7 % para 2050.

Con los avances en las nuevas tecnologías nucleoelectricas, que en algunos casos requieren menos uranio o utilizan los desechos nucleares actuales como

combustible, el aumento en la generación de energía nucleoelectrica no implica necesariamente un aumento proporcional de la demanda de uranio extraído. Sin embargo, cabe esperar que esa demanda crezca.

¿Cómo satisficera la industria este aumento de la demanda? Aunque existen suficientes recursos de uranio accesibles mediante las prácticas mineras actuales para al menos 100 años, se están realizando investigaciones con el fin de identificar distintos métodos para aprovechar los recursos mundiales de uranio.

El uranio del mar

Uno de esos métodos se basa en la extracción de uranio del agua de mar, que contiene más de cuatro mil millones de toneladas de uranio disuelto, lo cual supera con creces el volumen del suministro razonablemente garantizado por las actividades mineras en la tierra. La extracción de uranio del mar también promete ser una alternativa sostenible y ecológica para complementar el abastecimiento mundial de uranio.

Extraer cantidades utilizables de uranio del agua de mar es teóricamente más simple que extraerlo del mineral. El uranio que se encuentra en el agua de mar se genera mediante reacciones químicas estables entre el agua y las rocas que contienen uranio. Cuando se toma el uranio del agua de mar, la misma cantidad se filtra más tarde desde las rocas para reemplazarlo. El éxito de esta investigación significaría que se dispone de una cantidad prácticamente ilimitada de este elemento.

Los métodos que se están elaborando para extraer uranio del agua de mar consisten en emplear fibras de polietileno, un plástico común, impregnadas con amidoxima, una sustancia que atrae el dióxido de uranio y lo adhiere a la fibra. Hay aproximadamente tres miligramos de uranio por metro cúbico de agua, o el equivalente a alrededor de un grano de sal por litro. Después de remojar las fibras durante un mes, los científicos pueden retirarlas y someterlas a un tratamiento con ácido que permite extraer el uranio y hacer que las fibras se puedan reutilizar.

Si bien este método se ha estado investigando durante décadas, su comercialización aún no ha demostrado ser rentable, dados los bajos precios del uranio y su abundante disponibilidad en las minas convencionales. Durante los últimos cinco años, los costos de la extracción de uranio del mar se redujeron en un factor de cuatro hasta llegar al valor de 440 dólares de los Estados Unidos por kilogramo. No obstante, el precio todavía debe disminuir significativamente para que este método pueda utilizarse a escala comercial.

Uso más eficiente del uranio

El uso y la gestión eficientes del uranio son tan importantes como su extracción sostenible. El interés a escala mundial en el empleo de reactores modulares pequeños (SMR) ha crecido gracias a su capacidad de generar electricidad de forma flexible para una amplia variedad de usos y

aplicaciones. Una ventaja de los SMR es que, dependiendo de la tecnología utilizada, se puede obtener el mismo rendimiento con una menor cantidad de uranio.

El despliegue en gran escala de los SMR podría modificar de manera significativa la demanda y la previsibilidad del mercado. En la actualidad, la industria satisface la demanda constante de los grandes reactores, cuyas necesidades de suministro son diferentes de las de los reactores pequeños.

Además de explorar nuevas tecnologías para obtener una mayor cantidad de uranio, la industria de la energía nuclear tendrá que analizar las prácticas de gestión de los recursos para garantizar la sostenibilidad, afirma el Sr. Hanly. Durante los últimos años, el OIEA ha estado trabajando con la Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (CEPE) para abordar las cuestiones relacionadas con la gestión de los recursos, incluidas la viabilidad socioeconómica y tecnológica y la confianza en las estimaciones.

“El uranio debe considerarse un combustible con bajas emisiones de carbono que puede contribuir al logro de muchos de los Objetivos de Desarrollo Sostenible de las Naciones Unidas y los compromisos relativos al clima”, dice Harikrishnan Tulsidas, Oficial de Asuntos Económicos de la CEPE. “Las nuevas tecnologías desempeñarán un papel fundamental en la producción sostenible de uranio”.

El agua de mar contiene más uranio que todos los yacimientos juntos del mundo, pero actualmente su extracción no es rentable.



Oklo, el único reactor nuclear natural conocido de la Tierra, de dos mil millones de años de antigüedad

Laura Gil



Muestras de Oklo donadas al Museo de Historia Natural de Viena.

(Fotografía: Ludovic Ferrière/
Museo de Historia Natural)

El físico Francis Perrin estaba en una planta de procesamiento de combustible nuclear situada en el sur de Francia, pensando para sí mismo: “No puede ser”. Era el año 1972. Por un lado, había un pedazo oscuro de mineral de uranio radiactivo natural, extraído de una mina en África. Por otro, datos científicos aceptados sobre la proporción constante de uranio radiactivo en el mineral.

Tras examinar este mineral procedente de una mina en el Gabón, se descubrió que contenía una proporción de uranio 235 (U 235), la variedad fisible, inferior a lo habitual. Solo ligeramente inferior, pero lo suficiente para que los científicos se detuvieran a darle vueltas a la incógnita.

La primera respuesta lógica que encontraron los físicos para una proporción de U 235 tan inusual fue que no se trataba de uranio natural. Hoy en día, todo el uranio natural contiene 0,720 % de U 235. Si lo extrajéramos de la corteza terrestre, de rocas lunares o de meteoritos, nos encontraríamos con esta proporción. Pero aquel pedazo de roca de Oklo contenía únicamente un 0,717 %.

¿Qué significaba aquello? En un primer momento, la única opción que se les ocurrió a los físicos fue que el mineral de uranio había experimentado fisión artificial, es decir, que se había provocado la división de algunos de los isótopos U 235 en una reacción nuclear en cadena. Esto podría explicar por qué la proporción era más baja de lo normal.

Pero tras realizar análisis complementarios, el Sr. Perrin y sus colegas confirmaron que el mineral de uranio era completamente natural. Todavía más asombroso fue descubrir la huella de productos de fisión en el mineral. Los físicos llegaron a la conclusión de que el mineral de uranio era natural y *además* había experimentado fisión. Solo había una explicación posible: la roca era la prueba de que hace más de dos mil millones de años se produjo fisión natural.

“Después de efectuar más estudios, incluidos exámenes *in situ*, descubrieron que el mineral de uranio había experimentado fisión por sí mismo”, explica Ludovic Ferrière, conservador de la colección de rocas en el Museo de Historia Natural de Viena, en el que se presentará al público una parte de la curiosa roca en 2019. “No cabía otra explicación”.

Para que este fenómeno pueda haberse producido de forma natural, estos yacimientos de uranio en África Ecuatorial occidental tenían que contener necesariamente una masa crítica de U 235 para iniciar la reacción. Por aquel entonces, así era.

Un segundo factor necesario para que se produzca y se mantenga una reacción nuclear en cadena es la existencia de un moderador. En este caso, el agua. Sin agua que ralentizara los neutrones, no habría sido posible una fisión controlada, ya que los átomos, sencillamente, no se habrían dividido.

“De igual modo que si en un reactor nuclear artificial de agua ligera no hay nada que ralentice los neutrones, que los modere, las reacciones de fisión simplemente se detienen”, dice Peter Woods, responsable del grupo a cargo de la producción de uranio en el OIEA. “El agua actuó como moderador en Oklo, absorbiendo los neutrones y controlando la reacción en cadena”.

También ayudó el contexto geológico específico en lo que hoy es el Gabón. Las concentraciones químicas de uranio total (incluido el U 235) eran suficientemente elevadas y sus yacimientos tenían suficiente grosor y tamaño. Por último, Oklo fue capaz de sobrevivir al paso del tiempo. Los expertos sospechan que pueden haber existido otros reactores naturales en el mundo, pero habrán sido destruidos por procesos geológicos, se habrán extinguido o habrán sufrido subducción, o simplemente no se han descubierto todavía.

“Lo que lo hace tan fascinante es que las circunstancias temporales, geológicas e hídricas se hayan combinado para que esto pudiera suceder”, sostiene el Sr. Woods. “Y que se haya preservado hasta la actualidad. La historia de detectives se ha resuelto con éxito”.

Una muestra de roca en la ciudad sede del OIEA

En la sede de la empresa francesa de energía nucleoelectrónica y renovable Orano se almacenan muestras de roca de Oklo, algunas de las cuales se recuperaron en campañas de perforación. A principios de 2018 se donaron al Museo de Historia Natural de Viena dos muestras partidas por la mitad procedentes de la perforación. La donación fue posible gracias a la contribución financiera de Orano y la Comisión de Energía Atómica y Energías Alternativas (CEA) de Francia, con apoyo de la Misión Permanente de Francia ante las Naciones Unidas y las organizaciones internacionales con sede en Viena. Científicos del OIEA prestaron su apoyo durante el envío de la muestra a Viena monitorizando los niveles de radiactividad y posibilitando una manipulación segura de la roca.

Las dos muestras emiten una radiación de aproximadamente 40 microsievets por hora a una distancia de 5 centímetros, lo que prácticamente equivale a la cantidad de radiación cósmica que recibiría un pasajero en un vuelo de ocho horas de Viena a Nueva York. El museo, que recibe 750 000 visitantes al año, está acostumbrado a manejar muestras radiactivas, puesto que ya expone una serie de rocas y minerales levemente radiactivos.

“Queremos que la gente aprenda cosas sobre la radiactividad natural, que tome conciencia de que la radiactividad está en todas partes, que es natural y que a niveles bajos no es



Ludovic Ferrière, conservador de la colección de rocas, sostiene la roca de Oklo en el Museo de Historia Natural de Viena. A partir de 2019 se exhibirá permanentemente una muestra de Oklo en el museo.

(Fotografía: L. Gil/OIEA)

peligrosa. En el piso y las paredes de nuestros hogares hay radiactividad, así como en los alimentos que ingerimos, el aire que respiramos e incluso en nuestro propio cuerpo”, dice el Sr. Ferrière. “¿Qué mejor forma de explicarlo que exhibiendo una muestra real de Oklo, donde la fisión nuclear se produjo de manera natural hace miles de millones de años?”

En la exposición permanente se mostrarán diferentes fuentes de radiactividad de fondo. Quizás un mapa del mundo con la distribución de la radiactividad, un detector de radiación o contador Geiger o una cámara de niebla permitirán a los visitantes observar por sí mismos la exposición a la radiación natural.

“Las rocas son como los libros. En la portada hay información básica, pero cuando los abres está toda la historia”.

La producción de uranio vista desde dentro: situación, perspectivas y desafíos

Alexander Boytsov

Según dos informes recientes, habrá una sobreoferta de uranio hasta al menos 2023. En el *Uranium Market Outlook*, publicado por Ux Consulting en 2018, y el *Nuclear Fuel Report*, publicado por la Asociación Nuclear Mundial en 2017, se presentan pronósticos de la oferta y la demanda para el ciclo del combustible nuclear hasta 2030 y 2035, respectivamente.

Durante los dos períodos analizados, aproximadamente el 10 % de las necesidades mundiales se cubrirán mediante fuentes secundarias. Entre ellas se encuentran reservas civiles que mantienen compañías eléctricas y los gobiernos, uranio y plutonio reciclados o uranio empobrecido nuevamente enriquecido. La proporción de estas fuentes en el suministro total de uranio irá disminuyendo con el tiempo, lo que, por otro lado, dejará al uranio procedente de fuentes primarias sin muchas alternativas a largo plazo.

La producción de uranio a partir de las minas existentes se reducirá en un 30 % hasta 2035 por el agotamiento de los recursos y el cierre de las minas, y las nuevas minas solo compensarán la capacidad de las minas agotadas. Ambos informes muestran que es posible que entre 2023 y 2026 la demanda de uranio supere la oferta. A fin de colmar la brecha y alcanzar para 2035 las 30 000 toneladas anuales que se precisan, en los próximos diez años las posibles nuevas minas deberían comenzar a producir uranio. El problema reside en que, según los planes de las empresas, no se ha confirmado



Alexander Boytsov es asesor del vicepresidente del grupo Uranium One en Moscú. Tiene 40 años de experiencia en la prospección de yacimientos de uranio, estimación de recursos, extracción y procesamiento. Desde 1994 ha representado a la Federación de Rusia ante el Grupo Mixto AEN de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE)-OIEA del Uranio y fue copresidente del informe de 2011 sobre el mercado de combustible nuclear de la Asociación Nuclear Mundial.

El Sr. Boytsov ha sido autor y coautor de más de 100 publicaciones en Rusia y a nivel internacional, incluida la monografía *Uranium geology, mining and economy*, publicada en 2012.

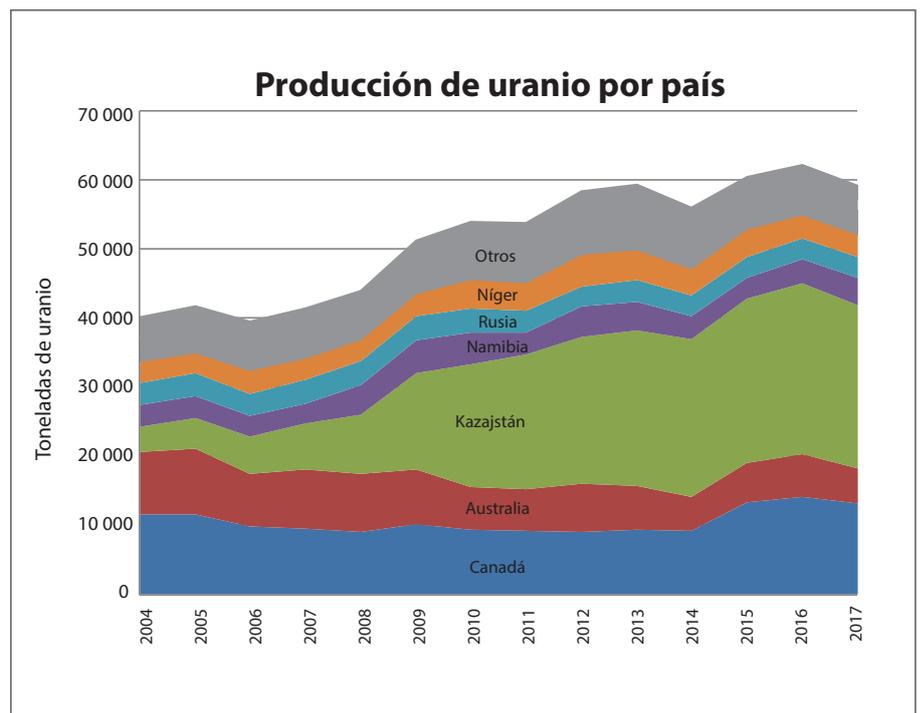


Figura 1. Producción de uranio por país.

Fuente: recopilación del autor, sobre la base de informes de libre acceso de empresas productoras de uranio.

aún la construcción de esas futuras minas. Teniendo esto en cuenta, ¿son suficientes los recursos de uranio y las capacidades de extracción mundiales para satisfacer los requisitos de las centrales nucleares a largo plazo?

A pesar de la atonía del mercado, la producción de uranio ha seguido creciendo de forma constante durante el último decenio hasta alcanzar 62 000 toneladas en 2016, un máximo histórico en el período comprendido entre 1983 y la actualidad. (En 2017 la producción ascendió a 59 000 toneladas). El crecimiento responde principalmente a un aumento de la producción en Kazajstán, que durante los últimos diez años ha multiplicado por seis la producción de uranio y es el mayor productor desde 2009 (véase la figura 1).

La lixiviación *in situ* es el principal método de extracción de uranio utilizado hoy en día. Su proporción en la producción mundial total ha pasado del 20 % en 2005 al 50 % en 2016 y 2017. Ahora bien, según Ux Consulting, las capacidades de extracción de uranio por lixiviación *in situ* empezarán a disminuir después de 2028 a causa del agotamiento de los recursos, por lo que la producción de las minas de lixiviación *in situ* de bajo costo experimentará un acusado descenso a partir de 2022. Las empresas de uranio podrían afrontar desafíos económicos y técnicos en el diseño de nuevos proyectos de minas de lixiviación *in situ* como consecuencia de los elevados costos y la disponibilidad limitada de recursos.

Solo un 40 % de las 43 minas que actualmente están en funcionamiento producen uranio a un costo por debajo del precio del mercado al contado, según Ux Consulting. Y únicamente las empresas con una producción de bajo costo o contratos favorables a largo plazo tienen posibilidades de sobrevivir en las difíciles condiciones del actual mercado del uranio.

Además de los bajos precios del uranio, las empresas se enfrentan a limitaciones de carácter político, social y ambiental que han impedido el desarrollo de varios proyectos relacionados con el uranio en Australia, el Canadá, Kazajstán, Rusia y varios países de África. Esto podría redundar en una caída de la producción del uranio en 2018 de al menos un 10 %.

Aunque Kazajstán es actualmente el primer productor del mundo, en el futuro también podría verse expuesto a todas las dificultades mencionadas. Tiene previsto mantener la capacidad actual de extracción de uranio a un nivel de 25 000 toneladas al año durante los próximos cinco años, pero esta cifra podría descender en un 40 % para 2030 y en un 70 % para 2035 debido al agotamiento de los recursos y el cierre de antiguas minas.

Suficientes recursos de uranio, pero ¿a qué costo?

Para una producción sostenible a largo plazo es fundamental disponer de recursos de uranio fiables a bajo costo. En general, los recursos mundiales de uranio son más que suficientes para garantizar las necesidades a largo plazo de la industria nuclear. Al mismo tiempo, no obstante, muchos recursos pertenecen a las categorías de alto costo. Después de 2020, los productores de uranio podrían enfrentarse a una escasez de recursos de bajo costo. Si bien a lo largo del decenio pasado los recursos mundiales de uranio conocidos aumentaron en un 21 %, los recursos de la categoría de bajo costo, por debajo de 80 dólares de los Estados Unidos por kilogramo de uranio, disminuyeron en un 48 % (véase la figura 2).

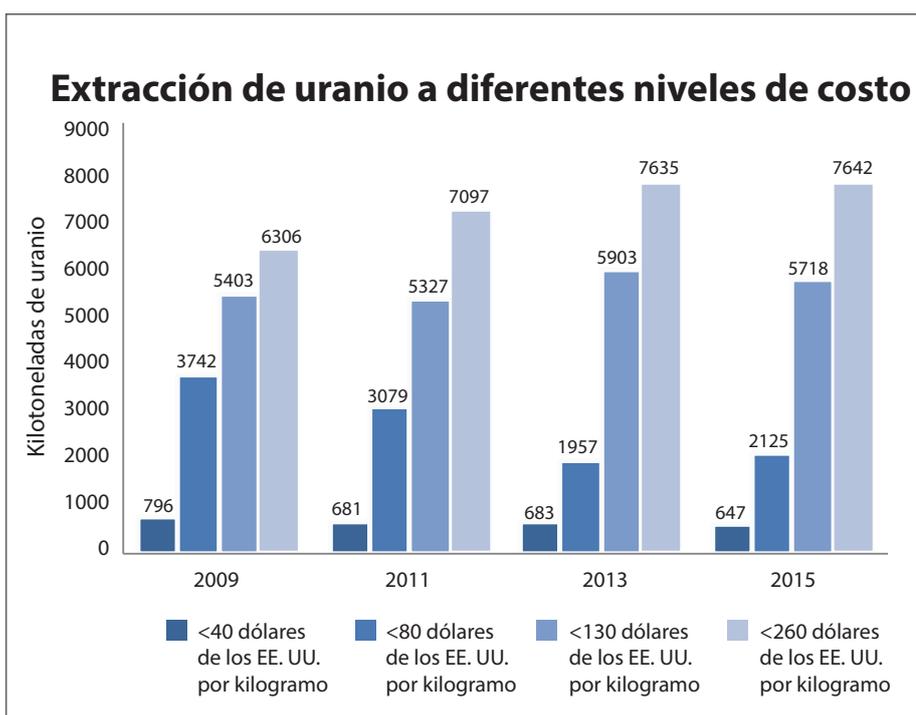


Figura 2. Evolución de los recursos de uranio.

Fuente: *Uranium 2016: Resources, Production and Demand*, informe elaborado conjuntamente por la Agencia para la Energía Nuclear (AEN) y el OIEA.

El OIEA amplía la creación de capacidad para luchar contra el cáncer infantil

Gracias a una nueva alianza, el OIEA podrá ayudar mejor a los países de ingresos medianos y bajos a ofrecer un mayor acceso a la detección temprana y el tratamiento del cáncer infantil. En el marco de un acuerdo de cooperación con Childhood Cancer International (CCI), firmado a principios de junio de 2018, el CCI y el OIEA trabajarán conjuntamente para impartir capacitación especializada a los profesionales que trabajan en pediatría, fomentar el conocimiento y movilizar recursos en beneficio de niños enfermos de cáncer en los Estados Miembros del OIEA.

El CCI reúne a 188 organizaciones de 93 países que representan a padres y jóvenes que han superado un cáncer y su labor se centra en promover prácticas óptimas, diseñar enfoques eficaces e innovadores y proporcionar soluciones eficaces en relación con los costos para reducir las muertes por cáncer infantil. El CCI ejecuta proyectos en varios países, entre ellos Etiopía, Ghana y Myanmar, cuyo objetivo es satisfacer las necesidades de atención médica de niños que están en tratamiento, dar capacitación a becarios en oncología pediátrica, construir

instalaciones que funcionen de forma sostenible y crear grupos de apoyo a los padres.

Cada año se diagnostican más de 300 000 casos de cáncer en niños menores de 14 años, y esta cifra va en aumento. Según un informe sobre CONCORD-2 publicado en 2015 por *The Lancet*, se estima que la supervivencia de los niños en partes del mundo menos desarrolladas puede ser de tan solo el 30 %, frente al 80 % de los países de ingresos altos.

Mejor acceso al tratamiento

“Este acuerdo establece una colaboración en la lucha contra el cáncer infantil que permitirá aumentar el acceso a servicios de radioterapia para niños con cáncer en los países en desarrollo”, explica Dazhu Yang, Director General Adjunto del OIEA y Jefe del Departamento de Cooperación Técnica. “Esta alianza seguirá apoyando a nuestros Estados Miembros en su respuesta a la creciente demanda de servicios oncológicos y competencias especializadas”.

El OIEA ha estado colaborando estrechamente con los Estados Miembros al objeto de concebir y ejecutar

programas que incorporen la medicina radiológica como parte de un enfoque multidisciplinario para la lucha contra el cáncer, desde la prevención y la detección temprana hasta el tratamiento. Además de impartir capacitación a profesionales de la salud, el Organismo contribuye, mediante la transferencia de tecnologías avanzadas como la radioterapia con protones, a medidas de control de calidad y la adquisición del equipo necesario para tratar los cánceres infantiles. El OIEA elabora orientaciones para la seguridad y la protección de los pacientes que reciben radiación, incluidos los niños.

Gracias a la participación del OIEA en el diagnóstico y el tratamiento del cáncer en el plano mundial, el CCI espera que la alianza reporte beneficios a los pacientes jóvenes y sus familias en el mundo entero, afirma Ruth Hoffman, presidenta del CCI. “Nuestro objetivo es que todos los niños y adolescentes con cáncer reciban el mejor cuidado posible y tengan acceso a servicios de diagnóstico”, afirma. “Con ayuda del OIEA, podemos lograrlo”.

— James Howlett

Una aplicación de juego en línea gana el concurso del OIEA dirigido a estudiantes



El equipo de estudiantes malasios presenta su proyecto ganador en el concurso del OIEA dirigido a estudiantes sobre enfoques innovadores para popularizar la ciencia y la tecnología nucleares, 31 de mayo de 2018, Gyeongju (Corea del Sur).

(Fotografía: OIEA)

Con una aplicación de videojuego para promover la ciencia nuclear, un equipo de enseñanza secundaria de Malasia ganó el concurso internacional dirigido a estudiantes, cuyos ganadores se anunciaron en la Tercera Conferencia Internacional del OIEA sobre el Desarrollo de Recursos Humanos para Programas Nucleoeléctricos, celebrada en mayo de 2018 en Gyeongju (Corea del Sur).

El equipo del centro de enseñanza secundaria SMK Kuala Besut dio a su aplicación el nombre de “100 cosas sobre la ciencia nuclear y la vida”. Después de poner en marcha esta herramienta educativa a principios de 2018, los estudiantes descubrieron que los habitantes y los turistas participantes habían cambiado radicalmente de parecer sobre la industria nuclear.

“Antes del proyecto, el 93 % de los participantes mostraban una actitud negativa hacia la ciencia y la tecnología nucleares”, expone Safyyah bnti Muhammad Nasir, una de las tres estudiantes malasias que integran el equipo ganador. “Pero tras familiarizarse con los elementos básicos de las aplicaciones nucleares, el 96 % de las personas entrevistadas tenían una visión positiva de la energía y la ciencia nucleares”.

La finalidad del concurso dirigido a estudiantes, celebrado en el marco de la conferencia de cuatro días de duración, era suscitar el interés de los estudiantes de enseñanza secundaria en la ciencia y la tecnología nucleares y estaba abierto a participantes de todo el mundo. Se asignó a estudiantes de entre 14 y 18 años de edad la tarea de promover el debate y la conciencia sobre la repercusión presente y futura de la ciencia y la tecnología nucleares.

Cinco equipos finalistas, procedentes de Corea del Sur, los Estados Unidos de América, Hungría, el Japón y Malasia, diseñaron y aplicaron los proyectos más innovadores y fueron premiados con un viaje a Gyeongju para presentarlos en la conferencia del OIEA.

Wan Mod Shatar, el profesor que supervisó al equipo del centro de

enseñanza secundaria SMK Kuala Besut, subraya: “Es importante señalar que nuestros estudiantes proceden de un pueblo de pescadores de Malasia, donde los conocimientos sobre la ciencia nuclear son limitados. A través de este concurso, no solo tuvieron que interactuar con la comunidad, sino que también tuvieron que empezar a explorar un ámbito científico nuevo”.

Entre los criterios para la selección inicial figuraban la exactitud, la innovación, la posible repercusión y el equilibrio de género.

“Cuando oímos hablar por primera vez del concurso internacional del OIEA dirigido a estudiantes, supimos que era una gran oportunidad para aprender más sobre la industria nuclear y subrayar nuestra pasión por un mundo con energía nuclear segura”, explica Andrew King, vicepresidente del centro Alliance Dr. Olga Mohan High School (Estados Unidos de América), que envió a uno de los equipos finalistas. Los estudiantes de secundaria se dieron cuenta de que el miedo a las armas nucleares empañaba la imagen que sus compañeros tenían de la energía nuclear, y era necesaria una mayor difusión sobre esa industria para informar a los estudiantes de las profesiones vinculadas al sector nuclear.

En la clausura de la conferencia, Yves Bréchet, Alto Comisionado de la Comisión de Energía Atómica y Energías Alternativas (Francia), puso de relieve que, desde la enseñanza primaria hasta los programas de doctorado, todos los niveles de educación son fundamentales para el futuro de la energía nuclear. De hecho, todas las cuestiones a las que se enfrenta la industria nuclear actualmente están presentes en la enseñanza y la capacitación:

- el aumento de la aceptación por el público de la energía nucleoelectrica pasa por educarlo y pone de manifiesto la importancia de una educación científica para todos;
- la necesidad de aumentar la eficiencia y la seguridad debe movilizar a una nueva generación de ingenieros más familiarizados con la simulación por computadora y el análisis de datos; y
- el desarrollo de innovación hará necesarios la ingeniería, proyectos a largo plazo y académicos de diferentes ámbitos.

La conferencia congregó a más de 520 participantes y observadores de 51 países y 5 organizaciones.

— *Shant Krikorian*

El OIEA pone en marcha el Nodo de Creación de Capacidad en materia de Energía Nuclear

El OIEA ha puesto en marcha una nueva plataforma digital centrada en la planificación de la fuerza de trabajo, el liderazgo, la capacitación, la participación de los interesados y el desempeño humano a fin de apoyar a los países que explotan centrales nucleares y los países que estudian la posibilidad de desarrollar un programa nucleoelectrico o lo estén desarrollando. El Nodo de Creación de Capacidad en materia de Energía Nuclear permite a los usuarios registrados sumarse a comunidades proactivas de prácticas para intercambiar información, crear capacidad y establecer contactos con otros.

Los expertos pueden unirse a comunidades de prácticas sobre cada tema, proporcionar retroinformación

sobre los proyectos de publicaciones del OIEA, examinar recursos de aprendizaje electrónico del Organismo, conectarse con otros sitios web pertinentes, ojear publicaciones del OIEA y acceder a los documentos de reuniones anteriores.

“El Nodo ofrece un espacio interactivo en línea único dirigido a especialistas que trabajen en el ámbito nuclear”, dice Lotta Halt, especialista en capacitación en materia de energía nucleoelectrica del OIEA. “Constituirá el punto de convergencia del OIEA en materia de información y debate sobre temas relacionados con el desarrollo de recursos humanos y la participación de los interesados en programas nucleoelectricos”.

El Nodo se presentó en la Tercera Conferencia Internacional sobre el Desarrollo de Recursos Humanos para Programas Nucleoelectricos, celebrada en Gyeongju (Corea del Sur) del 28 al 31 de mayo de 2018.

Su creación surgió como respuesta a las solicitudes de los Estados Miembros de que se modernizara el modo en que los profesionales de la esfera nuclear se comunican entre sí. Su objetivo es ofrecer foros más rápidos y colaborativos.

Para inscribirse y participar, póngase en contacto con HRD.Contact-Point@iaea.org.

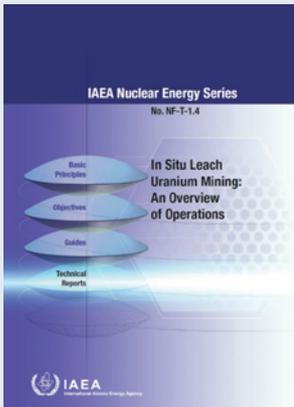
— *Lisa Berthelot*



World Distribution of Uranium Deposits. Second Edition

Se trata de un mapa digital exhaustivo, interactivo en línea e integrado de la distribución y los yacimientos de uranio de todo el mundo. Esta segunda edición se elaboró a partir de contribuciones del Servicio Geológico de Saskatchewan, el Servicio Geológico de Australia Meridional y el Servicio Geológico de los Estados Unidos de América. En la primera edición (1995), se enumeraban 582 yacimientos de uranio en todo el mundo, mientras que esta incluye 2831. Ofrece instrumentos interactivos avanzados y también está disponible en formato impreso. (En el artículo de la página 12 figura información más detallada).

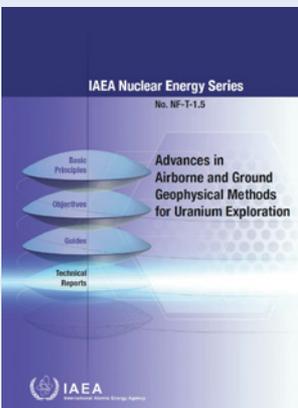
Publicaciones monográficas; ISBN: 978-92-0-100118-4; edición en inglés; 20,00 euros; 2018
<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/12314/World-Distribution-of-Uranium-Deposits>



In Situ Leach Uranium Mining: An Overview of Operations

Esta publicación presenta una reseña histórica y muestra la experiencia adquirida en la lixiviación *in situ* o extracción mediante lixiviación en todo el mundo. Este método se ha convertido en uno de los métodos estándar de producción de uranio. La publicación puede emplearse para orientar el desarrollo de actividades técnicas, teniendo en cuenta consideraciones ambientales y haciendo hincapié en los aspectos económicos del proceso, comprendido el cierre responsable de la mina. Además, proporciona información sobre cómo diseñar, operar y regular los proyectos actuales y futuros de manera segura y eficiente, con miras a maximizar el rendimiento y reducir al mínimo el impacto ambiental negativo.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NF-T-1.4; ISBN: 978-92-0-102716-0; edición en inglés; 30,00 euros; 2016
<https://www-pub.iaea.org/books/iaeabooks/10974/Uranium-Mining>



Advances in Airborne and Ground Geophysical Methods for Uranium Exploration

Esta publicación se centra en los instrumentos geofísicos de nuevo diseño y su aplicación en la prospección del uranio, describe sucintamente los métodos modernos y demuestra su aplicación con ejemplos.

Colección de Energía Nuclear del OIEA N° NF-T-1.5; ISBN: 978-92-0-129010-6; edición en inglés; 26,00 euros; 2013
<https://www-pub.iaea.org/books/IAEABooks/8641/Uranium-Exploration>

**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

Conferencia Ministerial

Ciencia y Tecnología Nucleares: Abordar los Obstáculos Actuales y Nuevos en materia de Desarrollo

28 a 30 de noviembre de 2018
Viena (Austria)



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Átomos para la paz y el desarrollo

#Atoms4Life



CN-262

Foro Científico del Organismo Internacional de Energía Atómica

La Tecnología Nuclear y el Clima

Mitigación

Monitorización

Adaptación

18 y 19 de septiembre de 2018

Centro Internacional de Viena

Sala D de la Junta

Edificio C

4° piso



IAEA

Organismo Internacional de Energía Atómica

Átomos para la paz y el desarrollo



<https://www.iaea.org/scientific-forum>