

Minería y tratamiento del uranio: Evaluación de las cuestiones relativas a la restauración del medio ambiente

El OIEA presta asistencia para resolver problemas en Europa central y oriental y los Estados recientemente independizados

por
**Giorgio Gnugnoli,
Michele Laraia
y Peter Stegnar**

A raíz de los cambios políticos acaecidos en Europa central y oriental (ECO) y el surgimiento de los Estados recientemente independizados (ERI) después de la desintegración de la antigua Unión Soviética, mucho se ha conocido de las condiciones ambientales de estos países. En aras de lograr metas de productividad basadas en cuotas, buscaron la industrialización en gran escala y empobrecieron los recursos naturales de la región. En ese proceso, en muchas esferas a menudo se descuidó la preservación y protección del medio ambiente.

Los cambios políticos revelaron de manera fragmentada la existencia de emplazamientos radiocontaminados y crearon condiciones para que estos países se hicieran receptivos a la cooperación de una serie de países de los cuales antes habían estado aislados.

Aunque la necesidad de restaurar el medio ambiente no es privativa de las regiones de ECO y de los ERI, algunas características específicas pueden traer otras complicaciones. Por ejemplo, si se determina que las instalaciones de producción de uranio requieren la adopción de algún tipo de medida correctora, es posible que el tamaño y la ubicación de los centros de producción de ECO y los ERI compliquen la labor de restauración. A diferencia de algunos países cuyo desarrollo minero tuvo lugar en zonas apartadas (por ejemplo, los Estados Unidos) o generó cantidades de desechos relativamente pequeñas, los países de ECO y los ERI hacen frente a complicaciones logísticas mayores por dos razones obvias. En primer lugar, los volúmenes de desechos radiactivos acumulados son demasiado grandes para evacuarlos a un costo razonable. En segundo lugar, no existen otros emplazamientos de evacuación más seguros, o no son prácticos.

Durante los años ochenta y principios de los noventa, se cerraron muchas de las minas de uranio más antiguas debido a la reducción de la demanda de

uranio y al aumento de la oferta general. Los consiguientes bajos precios y el costo de las medidas adicionales que era necesario adoptar para satisfacer las expectativas más exigentes de la sociedad en la esfera de la protección radiológica y del medio ambiente hicieron que la producción de uranio en muchas minas de baja ley dejara de ser lucrativa. Además, esta consideración económica ha venido a complicar aún más la restauración de los emplazamientos.

Aunque es probable que algunas de estas minas y plantas de tratamiento vuelvan a entrar en funcionamiento con el aumento de la demanda y los precios, muchas de ellas cerrarán definitivamente, y será necesario clausurarlas y eliminarlas. Como esta situación ha surgido en un plazo relativamente corto, se han dedicado limitados recursos a modificar, o incluso proteger, las zonas contaminadas de esos países.

Los factores que se relacionan a continuación contribuyen a aumentar el riesgo de contaminación radiactiva:

- los períodos operacionales prolongados contribuyen a acrecentar el riesgo de contaminación;
- a más alta ley de los minerales, mayor intensidad de la dosis radiactiva de los residuos;
- las condiciones climáticas naturales (por ejemplo, la lluvia, el viento) incrementan considerablemente la dispersión y la contaminación; y
- los países con recursos limitados sólo pueden dedicar recursos marginales a la restauración del medio ambiente.

Lamentablemente, en la mayoría de los países de ECO y los ERI existen estos factores. En el presente artículo se describen brevemente algunos de los problemas clásicos de la planificación y ejecución de proyectos de restauración del medio ambiente en estos países.

Condiciones y problemas fundamentales

Aunque algunas condiciones políticas, económicas y de infraestructura son comunes a muchos países de las regiones de ECO y los ERI, existen grandes diferencias. En general, se pueden distinguir tres cate-

Los Sres. Gnugnoli y Stegnar son funcionarios del Departamento de Seguridad Nuclear del OIEA y el Sr. Laraia es funcionario del Departamento de Energía Nuclear.



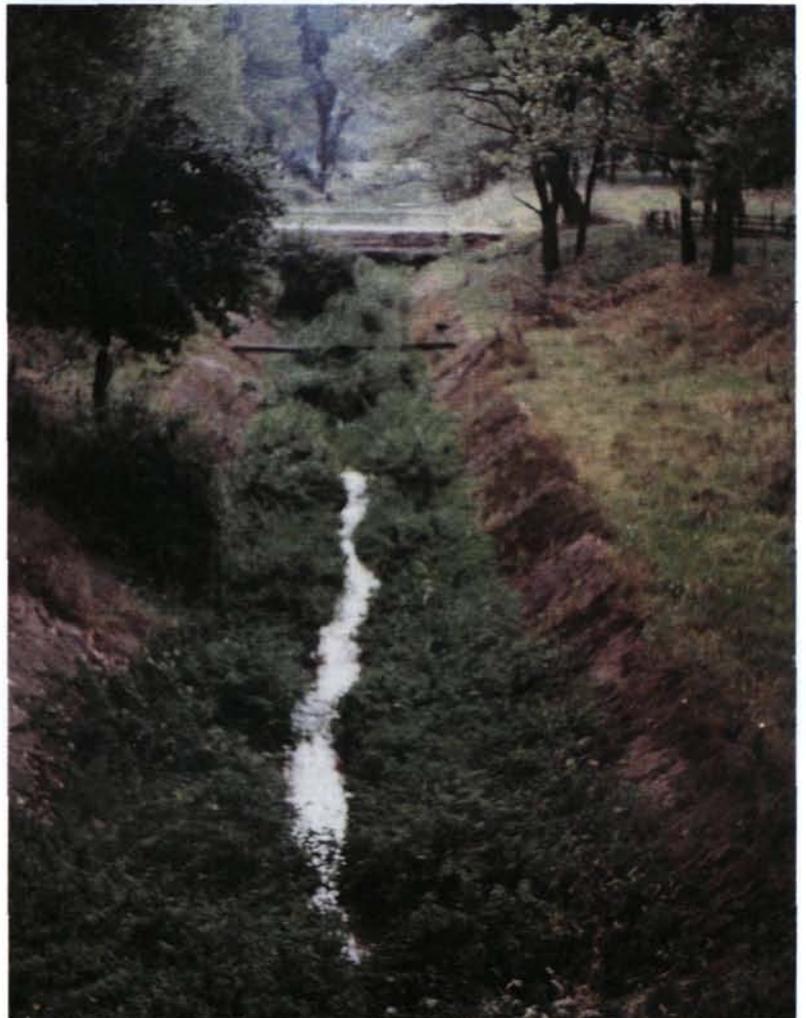
gorías de situaciones básicas relacionadas con la restauración del medio ambiente:

- países que tienen una industria del uranio poco desarrollada, con pequeñas cantidades de desechos procedentes de la minería y el tratamiento del uranio, y pocos emplazamientos contaminados (por ejemplo, Polonia);
- países que tienen una industria del uranio más desarrollada, con varias minas y plantas de tratamiento y recursos moderadamente afectados (por ejemplo, Rumania); y
- países que tienen una industria del uranio plenamente desarrollada, con muchas minas y plantas de tratamiento y recursos muy afectados (por ejemplo, la República Checa).

Entre los problemas clásicos asociados con las anteriores prácticas en ECO y los ERI están las emisiones de radón, la contaminación de las aguas subterráneas, la cercanía de la contaminación a zonas pobladas, la falta de recursos para emprender trabajos de restauración, la disponibilidad de lugares y opciones de evacuación, la ausencia de reglamentos o de una infraestructura reguladora de la restauración, el empleo indebido o la extracción de colas para la construcción, la ausencia de explotadores responsables, y los grandes inventarios y dispersiones regionales.

En algunos casos, la contaminación de las aguas subterráneas constituye un problema tan alarmante que las principales fuentes de agua potable están amenazadas por la contaminación química y radiológica. Otra situación típica de los países de ECO es

Arriba: Explotación minera y de tratamiento de uranio de Péc, Hungría, con cúmulos de "lixiviación en montones" y roca estéril. (Cortesía: Mecsekore Mining, Hungría) *Derecha:* Canal contaminado que atraviesa el poblado de Yana, cerca de la explotación minera y de tratamiento de Buhovo, Bulgaria.



la cercanía de los emplazamientos de producción de uranio a las zonas pobladas, la cual ha dado lugar, en ocasiones, al uso de parte de la roca estéril y de las colas en obras de construcción. Esas estructuras son fuentes constantes de radón en interiores, lo que se considera uno de los riesgos radiactivos más significativos.

Problemas particulares de la restauración del medio ambiente en la región

Especificaciones de los emplazamientos. Probablemente la selección y caracterización de los emplazamientos radiocontaminados en los países de ECO es el problema más difícil relacionado con los proyectos de restauración del medio ambiente. Los datos existentes no sólo están incompletos sino que tampoco son del todo fiables. Para realizar proyectos de restauración del medio ambiente es imprescindible contar previamente con fuentes de datos sobre los emplazamientos radiocontaminados específicos; de lo contrario, los esfuerzos y recursos dedicados al proceso son inútiles.

Problemas de organización asociados con los cambios políticos. En muchos de los países de ECO y los ERI, se está modificando el viejo marco de reglamentación para que se ajuste a las estructuras políticas recientemente independizadas o radicalmente modificadas. Dicho marco, que incluye la formulación de nuevas leyes y reglamentos, se halla en la fase de planificación o a punto de hacerse realidad. En algunos países será necesario adaptar las leyes vigentes a las nuevas situaciones políticas. Habrá un período de transición mientras se producen esos cambios y se despejan las ambigüedades en las nuevas responsabilidades. Es probable que esta situación complique el proceso de adopción de decisiones en materia de restauración del medio ambiente.

Financiación de los trabajos de restauración del medio ambiente. Una serie de organismos externos, como el Banco Mundial y el Banco Europeo de Reconstrucción y Fomento, así como países y grupos de países como la Unión Europea, están ofreciendo financiamiento para los trabajos de restauración del medio ambiente. Con todo, puede haber falta de coordinación y, por ende, duplicación en los proyectos, lo que podría conducir al uso ineficaz de los fondos disponibles. Además, también puede resultar difícil asignar y distribuir eficazmente los recursos financieros entre los países.

Infraestructuras disponibles para la gestión de los desechos y residuos procedentes de los programas de descontaminación. Para lograr una gestión eficaz de los residuos y desechos procedentes de los programas de descontaminación, los países tienen que disponer de infraestructuras e instalaciones de gestión de desechos para tratar, almacenar y evacuar en condiciones de seguridad cualesquiera desechos radiactivos resultantes de la restauración. En muchos países de ECO y los ERI, las etapas del ciclo del combustible nuclear se coordinaban regionalmente. En la mayoría de los países sólo quedan partes de esa infraestructura. Si en la práctica no se tiene acceso a las instalaciones de evacuación de desechos radiactivos, los esfuerzos de descontaminación pueden verse limitados.

Crecientes diferencias entre los países de ECO y los ERI. Es probable que en estas regiones resulte más rentable y beneficioso ejecutar grandes proyectos coordinados en lugar de programas nacionales independientes. No obstante, estos países tenderán a tomar caminos diferentes, debido al carácter diverso de sus actuales objetivos económicos y políticos, lo cual no beneficia el objetivo general de utilizar eficazmente los recursos en la restauración del medio ambiente. La proximidad geográfica, la semejanza entre las estructuras políticas y el tener los mismos tipos de desechos exigen la cooperación y el uso de tecnología y experiencias similares.

Actitudes del público. Otro de los problemas que plantean los proyectos de restauración del medio ambiente es el criterio oficial, científico y público sobre el problema de los desechos radiactivos. Puesto que durante casi cincuenta años en estas regiones se han venido empleando comúnmente las sustancias radiocontaminadas, junto con prácticas obsoletas de manipulación del material, la población no ha tenido más alternativa que aceptar la presencia de desechos radiactivos a su alrededor. En muchas ocasiones, el público ni siquiera sabía de la existencia de dichas sustancias tan cerca de sus hogares. Al parecer, esta situación está cambiando a medida que la población de estos países empieza a comprender los riesgos vinculados a estos desechos.

Soluciones para los emplazamientos contaminados

La estrategia que se aplica para hacer frente a la contaminación y a las emisiones provenientes de las instalaciones de extracción y tratamiento en funcionamiento se asemeja, en muchos sentidos, a la de las prácticas pasadas. Por ejemplo, la contaminación fuera del emplazamiento provocada por la erosión se caracteriza, y cuando conviene, se excava y devuelve al emplazamiento de origen. Existen determinadas prácticas y estrategias que, de ponerse en práctica durante el período operacional, pueden reducir en gran medida los esfuerzos de restauración en el momento de la eliminación.

Estrategias actuales de minería y tratamiento. En las operaciones actuales se siguen determinadas prácticas, junto con una estrategia general de aislamiento y enterramiento, lo que constituye un método de evacuación más eficaz y seguro. Dichas prácticas de gestión de desechos comprenden el rociado de los cúmulos de mineral y de las playas de residuos con agua y/o estabilizadores químicos, el uso de cámaras de filtros de bolsa en las áreas de trituración y mezcla, el uso combinado de depuradores en húmedo con cámaras de filtros de bolsa en las áreas de secado y embalaje de U_3O_8 , la inyección de las paredes de la mina, la adición de agentes neutralizantes a los líquidos residuales y la ventilación de las minas subterráneas.

Presa de residuos y cúmulos de rocas estériles. Las estrategias de gestión de desechos que se siguen hoy día en las minas y plantas de tratamiento convencionales consisten en enterramientos, relleno de minas, y la evacuación en lagos profundos y someros.

Estas estrategias de evacuación pueden mejorarse mucho incorporando otras características dirigidas a la protección del medio ambiente como:

- rellenado de minas con agregados de suelo y roca;
- uso de tabiques en las minas;
- neutralización química;
- revestimientos de presas de residuos líquidos;
- sistemas de evacuación progresiva por zanjas;
- bombeo de agua subterránea; y
- sistemas de recolección y tratamiento por drenaje y percolación.

Operaciones de minería no convencionales. En muchos casos, la naturaleza del recurso mineral no se presta fácil ni económicamente para la extracción y/o el tratamiento convencionales. Existen procesos industriales que permiten extraer el recurso sin los costos y otras cargas vinculados al tratamiento convencional del mineral. Estos procesos se conocen generalmente como minería o tratamiento no convencional. A diferencia de la minería y el tratamiento convencionales, existe la tendencia a realizar estos tipos de operaciones en escala más pequeña cuando no resulta económico ni práctico excavar los filones de minerales. Las principales operaciones no convencionales son la lixiviación *in situ* (extracción por disolución), la lixiviación en montones y la recuperación de subproductos. Si se logra mantener y explotar adecuadamente estos tipos de instalaciones más pequeñas, y relativamente económicas, los países de ECO y los ERI podrían mantener un nivel de producción de U_3O_8 sin las cargas y los riesgos de las grandes presas superficiales de desechos.

En algunos países de ECO se ha utilizado la minería *in situ* y el tratamiento convencional (por ejemplo, en la República Checa y Bulgaria), mientras que en Hungría se ha utilizado la lixiviación en montones. La recuperación de subproductos se basa en el principio de aprovechar un proceso industrial que ya existe desviando el flujo operacional -e incluso el de los desechos- hacia otros procesos de extracción. Por ejemplo, las antiguas instalaciones de extracción y tratamiento del uranio de Kirghistán (Karabalta) se modificarán para utilizarlas en el tratamiento del oro. Si bien la lixiviación en montones y la recuperación de subproductos son estrategias operacionales bastante independientes y controlables, la lixiviación *in situ* requiere un control más cuidadoso de la secuencia operacional para lograr un buen resultado sin contaminar los acuíferos utilizables.

Estrategias actuales de restauración

El enfoque de restauración para la contaminación resultante de anteriores prácticas de minería y tratamiento del uranio y el torio es muy similar a las actividades de recuperación que por lo general se realizan al cerrar definitivamente las operaciones de las minas y plantas de tratamiento en funcionamiento. Resulta complejo determinar el alcance y la magnitud de la restauración ya que los efectos de estas instalaciones por lo general sólo se manifiestan al cabo de algunos años. En realidad, el riesgo es más bien

crónico o latente. Las actividades de restauración abarcan uno o más de los aspectos siguientes:

Obras generales de construcción en tierra. Los tipos de equipo de movimiento de tierra que suelen utilizarse son retroexcavadoras, excavadoras y máquinas escarbadoras. Sin embargo, la naturaleza radiactiva de los suelos y rocas contaminados también exige la vigilancia del personal y equipo, así como la descontaminación del equipo y las zonas de trabajo.

Descontaminación de materiales. En algunos casos, los residuos de operaciones anteriores se han utilizado en obras de construcción fuera del emplazamiento. El legado de esta práctica ha sido la proliferación de ese tipo de desechos radiactivos en estructuras y terrenos que normalmente no estarían tan contaminados. A diferencia de lo que sucede con las instalaciones nucleares, en estas propiedades fuera del emplazamiento la restauración puede realizarse hasta un límite, de ahí que en esos casos se necesitaría una reglamentación más flexible. Por ejemplo, es posible que la roca estéril utilizada en la construcción de una vía férrea deba tratarse *in situ*, ya que la excavación y la reconstrucción podrían tener otras consecuencias más perturbadoras.

Contaminación de las aguas. Los recursos hídricos subterráneos y superficiales constituyen un problema tecnológico más grave para la restauración. Los costos de la restauración de un acuífero profundo obliga a depender más de la restauración natural como parte de la estrategia general de descontaminación. Hoy en día, una serie de países de ECO y los ERI hacen frente al problema de la contaminación de las masas de agua, mientras que otros se encuentran en la etapa de investigación para determinar el nivel que alcanza dicha contaminación.

Si bien depender exclusivamente de algunas de las tecnologías más caras puede estar fuera del alcance de los recursos de un país en particular, es posible que valga la pena considerar la posibilidad de aplicar una estrategia combinada que comprenda la restauración natural y el tratamiento del agua corrosiva (por ejemplo, el intercambio iónico). En muchos casos, cuando se agota el término fuente se obtienen beneficios inmediatos. Es necesario aislar y estabilizar lo antes posible los cúmulos de roca estéril y otros materiales radiactivos al descubierto, puesto que la lluvia puede interactuar con esos desechos y ocasionar otros problemas de contaminación (por ejemplo, lavado de ácidos de la roca estéril).

Una importante faceta de toda estrategia de restauración es el beneficio de la restauración parcial. La restauración natural, u otro enfoque más sencillo, puede reforzarse mucho cuando se logra mejorar el estado del acuífero o de la masa de agua, lo que puede facilitar la recuperación natural (por ejemplo, la modificación del pH añadiendo agentes de neutralización tan sencillos como la piedra caliza).

Función de la vigilancia en la restauración del medio ambiente. Para caracterizar adecuadamente la envergadura del problema y medir los progresos de cualquier estrategia de restauración, es necesario aplicar un sistema de vigilancia radiológica eficaz, fiable

y bien organizado. A la larga se necesita esta clase de sistema de vigilancia para demostrar si se logró o no la restauración del medio.

Programas del OIEA en la esfera de la minería y el tratamiento del uranio

El programa de gestión de desechos del OIEA cuenta con tres mecanismos básicos:

- elaborar documentos para ayudar a los países a ejecutar sus propios programas nacionales;
- servir de foro y centro coordinador para el intercambio de información técnica;
- promover la cooperación y asistencia técnicas a los países en desarrollo para el uso pacífico de materiales nucleares.

A continuación se brindan dos ejemplos de las últimas iniciativas del OIEA en el marco de este programa.

El programa del OIEA que se centra en las Normas de seguridad para la gestión de desechos radiactivos (RADWASS) comprende publicaciones de orientación en la esfera de la minería y el tratamiento del uranio, incluida una Norma de seguridad propuesta sobre la restauración de instalaciones y el medio ambiente.

El OIEA ha apoyado además un proyecto regional de cooperación técnica sobre restauración del medio ambiente en ECO. La mayoría de las actividades se centran en la caracterización del tipo y volumen de los desechos, así como en la planificación de las estrategias de ejecución de la descontaminación. En 1993 y 1994 se celebraron una serie de talleres en algunos países de ECO con el objetivo de brindar perspectivas de primera mano sobre el problema de la contaminación. En estos talleres se abordó la caracterización de los emplazamientos de desechos, la planificación de la restauración, y las técnicas de restauración y la aplicación de ésta. Los tipos de emplazamientos examinados incluyeron minas y plantas de tratamiento de uranio, pero el proyecto no se limitó sólo a la contaminación resultante de la minería y el tratamiento (por ejemplo, incluyó a Cher-

nobil). En el proyecto también han participado países con conocimientos especializados en la esfera de la rehabilitación y el saneamiento de emplazamientos de desechos radiactivos. En la medida de lo posible, se determinaron las entidades encargadas de la vigilancia y la descontaminación de cada emplazamiento pues, si no existiera una entidad responsable, podrían quedar dudas acerca del inicio, la ejecución y la terminación de cualquier actividad de rehabilitación.

Este proyecto de cooperación técnica, que ahora se halla en su etapa correspondiente a 1995-1996, consiste en el establecimiento de planes de trabajo para la restauración de explotaciones mineras y de tratamiento contaminadas. Después de 1996, las actividades se llevarán a cabo a nivel nacional, para centrarse en los aspectos específicos de los emplazamientos de estos tipos de instalaciones. El OIEA publicó recientemente los resultados de estos talleres (como TECDOC-865).

Desafíos actuales

A medida que los países de ECO y los ERI se insertan en la economía mundial, tienen que hacer frente a importantes desafíos para competir en el sector industrial privado, incluido el tratamiento de uranio. Si bien algunos de estos países aún poseen cantidades viables de mineral de uranio natural, todavía tienen que solucionar la cuestión de las prácticas de gestión de desechos obsoletas, de las que heredaron grandes inventarios de colas y roca estéril, así como otros desechos industriales.

La comunidad internacional reconoce esta situación y ha brindado ayuda a estos países por diversos conductos. El OIEA ha participado en actividades de asistencia en el marco de su programa de cooperación técnica. Al hacerlo, el Organismo vincula esta asistencia a criterios y normas aceptados internacionalmente, con el objetivo de asegurar el aprovechamiento futuro de los recursos de la industria de extracción y tratamiento de uranio, y la restauración ambiental conexas de los residuos de anteriores operaciones, sin repetir los errores del pasado.



Mina de uranio a cielo abierto en Uchkouduk, Uzbekistán

(Cortesía: C. Bergman, OIEA)