

REHABILITACIÓN DEL MEDIO AMBIENTE

ESTRATEGIAS Y TÉCNICAS PARA LA LIMPIEZA DE EMPLAZAMIENTOS CONTAMINADOS POR MATERIALES RADIACTIVOS

POR W. EBERHARD FALCK

En los últimos años, las medidas para disminuir la contaminación y aumentar la seguridad del medio ambiente han ocupado un lugar prominente en los programas sociales y políticos. Entre esas medidas figuran la rehabilitación de emplazamientos contaminados que plantean un riesgo radiológico para los seres humanos y el entorno inmediato.

Pueden derivarse riesgos radiológicos de la siguiente diversidad de actividades nucleares y no nucleares:

- Accidentes nucleares o radiológicos;
- Producción y ensayo de armas nucleares;
- Prácticas deficientes de gestión y disposición final de desechos radiactivos;
- Manufactura industrial en la que intervienen materiales radiactivos;
- Minería y tratamiento convencionales de minerales y otros procesos de producción que aumentan las concentraciones de materiales radiactivos naturales: por ejemplo, la producción de petróleo y gas.

El OIEA ha creado un programa general dedicado a la rehabilitación de los emplazamientos contaminados por materiales radiactivos. Mediante el programa se reúne y distribuye información sobre los emplazamientos contaminados; los métodos idóneos para su caracterización; la evaluación de sus posibles efectos ambientales y radiológicos; y los métodos aplicables para su descontaminación conforme a criterios de seguridad internacionalmente recomendados.

El objetivo general es ayudar a las regiones del mundo, que poseen limitados recursos y son menos avanzadas desde el punto de vista tecnológico, a que concentren sus esfuerzos y seleccionen estrategias apropiadas para mitigar o eliminar la exposición a las radiaciones. Un aspecto importante es la intención de "cerrar el circuito" del ciclo del combustible nuclear en interés del desarrollo energético sostenible, incluida la energía nucleoelectrónica.

Esas actividades entrañan muchos factores interrelacionados, entre ellos el marco jurídico e institucional, las condiciones socioeconómicas imperantes y la necesidad de equilibrar el rendimiento tecnológico con la reducción de los riesgos dentro de recursos presupuestarios fijos y limitados. Existe un aspecto fundamental; a saber, la eficiencia general de un proyecto de rehabilitación también reviste especial importancia y no solamente el efecto de las actividades de rehabilitación física en sí.

Las percepciones del público respecto del proceso de rehabilitación y sus resultados pueden tener una importancia crucial en la ejecución del proyecto, puesto que invariablemente influyen en las decisiones estratégicas y técnicas. Las evaluaciones de la relación costo-beneficio frente a la disponibilidad de recursos a lo largo del tiempo tienen una influencia decisiva. También deben incluirse las razones que justifican la rehabilitación y los incentivos de ésta, que pueden ser aspectos económicos, como el futuro uso de la tierra, o consideraciones éticas.

Factores que influyen en las decisiones sobre prácticas de rehabilitación. La rehabilitación de los emplazamientos donde el grado de contaminación radiológica es elevado se justifica sobre la base de las directrices y los criterios establecidos por el Organismo y la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR). En este contexto existe un amplio espectro de opciones técnicas que abarcan desde "no hacer nada" hasta la eliminación en gran escala del contaminante, según el alcance de la contaminación.

Si se tienen debidamente en cuenta todos los factores que influyen en el resultado de un proyecto de rehabilitación del medio ambiente, podrá hallarse, para determinada base de conocimientos, una solución óptima que satisfaga las metas sociales y añada valor al proyecto de que se trate. Un enfoque sistemático de la evaluación de las tecnologías disponibles y su aplicabilidad, así como la consideración de todas las variables y los factores que influyen en el proceso de adopción de decisiones relativas a la selección de la tecnología, aumentarán la transparencia y, por tanto, la probabilidad de que todas las partes interesadas acepten sus resultados. Este proceso también es indispensable para asegurar procedimientos actualizados de control y garantía de calidad. Por consiguiente, puede que la

El Sr. Falck es funcionario de la Sección de Tecnología de los Desechos de la División de Gestión del Ciclo del Combustible Nuclear y de los Desechos, del OIEA.

DOCUMENTOS Y ACTIVIDADES DEL OIEA RELATIVOS A LA REHABILITACIÓN AMBIENTAL

SEGURIDAD	GESTIÓN	BASES DE DATOS	TECNOLOGÍA	ASUNTOS ESPECIALES
Limpieza de zonas contaminadas por actividades y accidentes anteriores- Requisitos de seguridad. Documento en preparación	<i>Factors for Formulating a Strategy for Environmental Restoration</i> TECDOC - 1032	<i>A Directory of Information Resources on Environmental Restoration</i> TECDOC - 841	<i>Technologies for the Remediation of Radioactively Contaminated Sites</i> TECDOC-1086	Technologies for Long Term Stabilization & Isolation of Uranium Mill Tailings TECDOC in preparation
Gestión de desechos radiactivos provenientes de la minería y el tratamiento de minerales - Guía de seguridad en preparación	<i>Characterization of Radioactively Contaminated Sites for Remediation Purposes</i> TECDOC - 1017	Directory of Radioactively Contaminated Sites TECDOC in preparation	<i>Technical Options for the Remediation of Groundwaters</i> TECDOC-1088	Environmental Contamination by NORMs and Relevant Abatement Measures TECDOC in preparation
Observación y vigilancia para garantizar la seguridad radiológica de los residuos de la minería y el tratamiento del uranio y el torio - Informe de seguridad en preparación	<i>Compliance Monitoring for Remediated Sites</i> TECDOC - 1118	Restoration Costs TECDOC in preparation	<i>Site Characterization Techniques Used in Environmental Restoration</i> TECDOC-1148	Remediation of Sites Contaminated by Hazardous and Radioactive Substances TECDOC in planning
	Factors impacting on Environmental Restoration Practices TECDOC in preparation		Remediation of Sites with Low Levels of Radioactive Contamination TECDOC in planning	

Las publicaciones del OIEA pueden obtenerse solicitándolas a la División de Servicios de Conferencias y Documentación. Correo electrónico: salespublications@iaea.org. Véase también el sitio WorldAtom de la Web en <http://www.iaea.org/programmes/ne/nefw/nefwpubl.htm>

tecnología y la estrategia seleccionadas no sean, por definición, las mejores desde el punto de vista estrictamente técnico, pero tendrán en cuenta consideraciones sociales y económicas.

No obstante, existen profundas diferencias de opinión en cuanto a los métodos que deben utilizarse para incorporar formalmente todos estos factores. Los métodos aplicados abarcan desde la dependencia directa de la opinión de expertos, hasta clasificaciones cualitativas y complejas evaluaciones cuantitativas de diversas opciones. Las evaluaciones cuantitativas suelen requerir un denominador común y la conversión de propiedades no numéricas en categorías numéricas para fines de comparación. Existe mucha controversia en torno a los métodos de conversión aceptables, debido principalmente a la "monetización" de los valores éticos, que con frecuencia resulta inevitable.

Los factores que influyen en los procesos de adopción de decisiones sobre la selección de tecnologías para la rehabilitación del medio ambiente son el tema de un proyecto del OIEA y se

prevé preparar un documento técnico en el que se esbozarán posibles enfoques y conceptos.

Alcance del problema de los emplazamientos contaminados.

Aunque se trata de una tarea titánica, el OIEA se esfuerza por crear un directorio de emplazamientos contaminados con materiales radiactivos (DECMR) de alcance mundial. El Directorio tiene por objeto constituir un importante vehículo para la reunión y diseminación de información pertinente a través de World Wide Web. Sobre la base de los datos que suministren los Estados Miembros, el Directorio proporcionará información sobre las medidas de rehabilitación emprendidas, así como datos básicos sobre una gran diversidad de emplazamientos contaminados con materiales radiactivos.

La definición de lo que constituye "contaminación" sigue siendo un gran obstáculo para la preparación de tal directorio. Dada la amplia diversidad de leyes nacionales, resulta difícil lograr una definición unánime de lo que se entiende por "contaminación".

Con independencia de las definiciones científicas basadas en

datos sobre la concentración y la actividad o en las tasas de dosis, pueden formularse definiciones o clasificaciones para fines administrativos, y en tal caso se tienen en cuenta consideraciones más amplias de carácter socioeconómico y político inclusive. La inscripción de un emplazamiento en un directorio internacional puede tener importantes repercusiones, razón por la cual, a veces, los Estados Miembros se muestran renuentes. En consecuencia, con miras a crear el DECMR se adoptó un mecanismo por el que sólo se incluyen en la lista los emplazamientos sobre los cuales los Estados Miembros proporcionan información de manera oficial.

La finalidad del Directorio es ser no sólo una lista de emplazamientos contaminados, sino además servir de fuente de información sobre medidas de rehabilitación idóneas. También podría constituir un modelo para empeños similares a escala nacional.

Fomento de técnicas eficaces en función del costo. Los Estados Miembros del OIEA tienen

diferentes niveles de experiencias y conocimientos en materia de rehabilitación de emplazamientos contaminados con materiales radiactivos. Durante el decenio pasado se registraron acelerados avances en la esfera de la rehabilitación del medio ambiente, lo que realza la importancia de diseminar conocimientos sobre métodos de descontaminación apropiados, eficientes y eficaces en función del costo.

Como las causas y las formas de la contaminación ambiental con radionucleidos son diversas, también lo son las soluciones técnicas. Cada entorno contaminado requiere un enfoque particular. De manera acertada, el OIEA ha abordado en documentos técnicos especiales el problema de los suelos y las aguas subterráneas contaminados, así como la cuestión de la vigilancia del cumplimiento con normas preestablecidas y niveles de contaminación residual aceptados. (Véase el recuadro de la página 21.)

Ya se ha avanzado mucho en la creación de técnicas de rehabilitación para emplazamientos con contaminaciones bien definidas de niveles de concentración relativamente altos. Sin embargo, la limpieza y rehabilitación de niveles de contaminación dispersos y relativamente bajos siguen planteando un desafío cuando se tienen en cuenta factores como el costo y la perturbación adicional mínima del medio ambiente.

Es válido recurrir a reflexiones similares en cuanto a la reducción ulterior de la contaminación residual tras haberse aplicado otras medidas de rehabilitación, puesto que la eficiencia de la mayoría de las técnicas disminuye exponencialmente en relación con la contaminación restante. Es probable que la respuesta se encuentre en soluciones de baja intensidad, bajo nivel tecnológico y, por tanto, bajo costo.

Próximamente se publicará un

APOYO A MEDIDAS ADOPTADAS EN BULGARIA

En muchos países de Europa central y oriental se desarrollaban actividades de extracción de uranio de diferente envergadura e importancia. Si bien en muchos casos estas actividades se limitaban a excavaciones exploratorias, en Bulgaria, gracias a la calidad y las reservas del mineral, fue posible establecer varias minas y dos plantas de tratamiento. No obstante, a raíz de los cambios políticos y debido a la caída del precio del uranio en el mercado, a mediados de los años noventa se suspendieron la extracción y el tratamiento. Un proyecto de cooperación técnica del OIEA ha ayudado a las autoridades a establecer una infraestructura de vigilancia de las radiaciones y a prestar asesoramiento sobre la clausura y la rehabilitación ambiental de los emplazamientos de extracción y tratamiento. Gran parte de los trabajos se ha concentrado en los estanques para colas de tratamiento de Buhovo, que eran inestables y liberaban contaminantes a la llanura de aluvión situada a un nivel más bajo. Las actividades de capacitación y asesoramiento incluyeron misiones de expertos sobre aspectos concretos, como el tratamiento de efluentes, y un taller de dos semanas de duración sobre metodologías de gestión de riesgos para diversos aspectos de la extracción y el tratamiento de uranio. Participaron en el taller no sólo funcionarios de los departamentos ministeriales competentes, sino también personal de la antigua compañía minera que está a cargo de la operación de rehabilitación en curso. El apoyo y la capacitación del OIEA permitieron que las autoridades comprendieran y concentraran mejor la ayuda en programas generales como el programa de ayuda para la reconstrucción económica de Polonia y Hungría (PHARE) de la Comisión de las Comunidades Europeas, el cual apoya gran parte del trabajo en curso.



Arriba: Buhovo, 1995; escombrera para desechos provenientes de la minería. Abajo: Buhovo, 1995; instalación de sorción

APLICACIÓN DE LAS LECCIONES DE ALEMANIA

Hasta 1990, la ex Alemania oriental era uno de los principales proveedores de uranio y ocupaba el segundo lugar entre los productores más grandes a nivel mundial. Tras la desintegración de la Unión Soviética y la unificación de Alemania, se tomó la decisión política de suspender todas las actividades de minería que realizaba la compañía Wismut. Como el OIEA presta asistencia técnica a los países en desarrollo, la experiencia de Alemania resultó provechosa para los proyectos de cooperación técnica del Organismo sobre aspectos relacionados con el cierre, la clausura y la rehabilitación de los numerosos emplazamientos de extracción y tratamiento de Wismut. Por ejemplo, Wismut ha proporcionado personal para que preste servicios en misiones de expertos del OIEA y recibe a becarios de Estados Miembros del Organismo que enfrentan problemas similares. De esta manera, los programas del OIEA ayudan a diseminar los conocimientos y experiencias adquiridos en la rehabilitación de muchas minas a cielo abierto y subterráneas, y de instalaciones para la disposición final de residuos de la extracción y el tratamiento.



Fotos: Rehabilitación del repositorio de rocas estériles de Hammerberghalde. Arriba: Vista del lugar en 1960. Al centro: Vista del lugar en 1993. Abajo: Vista del lugar en 1997. (Cortesía: Wismut GmbH)

documento técnico sobre este tema en el que se compararán y examinarán información y datos del rendimiento correspondientes a técnicas y estrategias apropiadas, tales como la fitorrehabilitación y la biorrehabilitación, o la atenuación natural vigilada. En el documento se analizará la aplicabilidad y la idoneidad de esas tecnologías y sus requisitos previos.

En muchos emplazamientos ocurren simultáneamente contaminación derivada de

productos peligrosos convencionales y contaminación provocada por materiales radiactivos. Resulta típico que tales casos incluyan algunos antiguos emplazamientos industriales (por ejemplo, materiales radiactivos naturales en calidad de subproductos y en residuos), instituciones de investigaciones nucleares civiles y relacionadas con la defensa (por ejemplo, elaboración de disolventes), emplazamientos de

extracción y tratamiento de minerales (por ejemplo, metales pesados y arsénico) y antiguas prácticas de disposición final de desechos de actividad baja (por ejemplo, disposición final conjunta de desechos peligrosos y desechos radiactivos de actividad baja). Los problemas ambientales concretos dimanar principalmente de la diferente naturaleza química y comportamiento, y de la interacción de contaminantes diversos, como los metales pesados

y los radionucleidos, tanto en las condiciones existentes como en respuesta a la rehabilitación.

Una determinada técnica de rehabilitación podría producir la fijación *in situ* o la eliminación de un contaminante, pero a la vez podría provocar la movilización de otro. La mezcla de desechos provocada por medidas de rehabilitación podría plantear un nuevo problema técnico y administrativo. Será preciso hallar un método de disposición final adecuado para los diversos contaminantes y que satisfaga los requisitos jurídicos aplicables en cada caso, o, de lo contrario, habrá que separar los contaminantes.

Estas cuestiones serán abordadas en un proyecto que el OIEA ejecutará próximamente y en el que se ofrecerán ejemplos de casos de contaminación pertinentes y se describirán las medidas de rehabilitación aplicadas. Se analizarán esos casos para determinar los factores de control y los procesos. Se elaborará un procedimiento para ayudar a determinar las combinaciones de contaminantes que pueden causar problemas y que tiene por objeto proporcionar orientación sobre la forma de enfrentar esos problemas.

Asistencia a las actividades nacionales. El OIEA presta asistencia de diversas formas a los Estados Miembros en sus esfuerzos por evaluar los problemas de contaminación radiológica y descontaminar los emplazamientos afectados. A principios del decenio de 1990, el Organismo puso en marcha un proyecto regional de cooperación técnica que abarcaba a la mayor parte de los países de Europa central y oriental con el objetivo de evaluar la magnitud y la escala de los problemas ambientales relacionados con las radiaciones. Este proyecto ayudó a determinar esferas de problemas y a comprender mejor las necesidades de los diferentes Estados.

Hay dos esferas de problemas principales que han despertado y siguen despertando interés, a saber, las tierras afectadas por el accidente de Chernóbil y las tierras afectadas por la extracción y el tratamiento de uranio.

Por conducto de los proyectos de cooperación técnica se presta asistencia directa a los Estados Miembros. Así recibieron asistencia, por ejemplo, la República Checa, Eslovenia y Bulgaria mediante misiones de expertos, cursos de capacitación y el suministro de equipo analítico y de vigilancia para que enfrentaran el legado de la extracción del uranio. (*Véase el recuadro de la página 22.*) En virtud de un nuevo proyecto, se está prestando una asistencia similar a Portugal.

Asimismo, los Estados Miembros participan en programas coordinados de investigación (PCI) que reúnen a investigadores dedicados a problemas similares. Recientemente, concluyó un PCI sobre técnicas de caracterización de los emplazamientos y en el año 2000 se puso en marcha un nuevo PCI sobre técnicas para la estabilización de las colas de minería del uranio.

Una modalidad común de disposición final de las colas de minería del uranio consiste en utilizar presas situadas cerca de la superficie en las inmediaciones de la mina o planta de tratamiento. Esas presas solían escogerse de forma casual, aprovechando las depresiones geomorfológicas. Por tanto, se prestaba poca atención o ninguna a asegurar que el material de las colas quedara aislado de su entorno. El riesgo de las colas proviene de su contenido residual de radionucleidos de período largo y otros componentes peligrosos, por ejemplo, metales pesados y arsénico.

Los aspectos geomecánicos, tales como la estabilidad de las paredes de los montículos, los diques y las presas de retención, son problemas técnicos estándares

y la mayoría de los Estados Miembros toman disposiciones respecto de ellos en los reglamentos pertinentes aplicables a la construcción o extracción. No obstante, se suelen pasar por alto los efectos radiológicos. Entre los problemas ambientales típicos se cuentan las emanaciones de radón y la lixiviación de contaminantes en las aguas superficiales y subterráneas. A partir del objetivo de mantener un nivel mínimo de repercusiones ambientales durante períodos prolongados, la tarea del PCI consiste en ayudar a encontrar soluciones conceptuales y técnicas que permitan hacer las colas más inertes durante largos períodos; mantener la estabilidad de los materiales evacuados en presas y las estructuras técnicas durante largos períodos; minimizar la necesidad de un mantenimiento activo; y lograr que sean técnica y económicamente viables.

Redes de cooperación. Los resultados de las actividades de rehabilitación ambiental del OIEA se han publicado en diversos documentos técnicos y se han presentado en conferencias y reuniones internacionales. Esas actividades abordan en particular las necesidades de los Estados Miembros menos adelantados, que, típicamente, cuentan con menos recursos y suelen tener escasa experiencia para enfrentar problemas surgidos en circunstancias políticas y administrativas anteriores.

Los esfuerzos encaminados a reunir expertos de todo el mundo mediante programas de cooperación técnica e investigación fomentan el intercambio de conocimientos y, por tanto, garantizan la aplicación de estrategias y técnicas adecuadas. Igualmente importante es que la transferencia de conocimientos puede ayudar a los países en desarrollo a comprender mejor y evaluar críticamente la asistencia que prestan las instituciones donantes y los gobiernos. □