

Seguridad radiológica en las minas y plantas de tratamiento de uranio

por J.U. Ahmed*

Las industrias de minería y tratamiento del uranio se están desarrollando rápidamente en numerosos países y es probable que esta tendencia prosiga, a causa de la creciente demanda de combustible nuclear. Los problemas resultantes de los peligros radiológicos que presenta esta parte del ciclo del combustible nuclear han sido objeto de considerable atención en años recientes, pues por estudios epidemiológicos se sabe que el cáncer de pulmón se da entre los mineros de uranio, especialmente en el caso de los fumadores. El peligro no se limita únicamente a las minas de uranio: las investigaciones realizadas han demostrado que los mismos componentes radiológicos que causan el cáncer de pulmón entre los mineros del uranio, es decir el radón y sus productos de desintegración, se presentan también en otros tipos de minas y, en ciertos casos, se encuentran en un grado de concentración suficiente para provocar enfermedades profesionales.

En las minas de uranio los peligros radiológicos se deben principalmente a los radionucleidos en suspensión en el aire, consistentes en el radón y sus productos descendientes de período corto, el ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi y ^{214}Po . El radón (^{222}Rn) es un gas inerte, que por lo tanto entra y sale fácilmente de los pulmones con acumulación mínima en el aparato respiratorio. En cambio, los descendientes del radón son sólidos y pueden adherirse a las partículas de polvo suspendidas en el aire. Los descendientes del radón inhalado se depositan con preferencia en las vías respiratorias, dependiendo su ubicación exacta del tamaño de las partículas. La magnitud de la dosis de radiación al aparato respiratorio depende de la concentración de dichos descendientes en el aire inhalado, del tamaño de las partículas de polvo a las que éstos se adhieren, y de los parámetros fisiológicos.

Se piensa que los átomos libres, conocidos como descendientes del radón no combinados, se depositan preferentemente en las partes superiores de las vías respiratorias, que es donde se desarrolla la mayoría de los cánceres de pulmón de los mineros. La proporción de descendientes del radón no combinados es baja: un estudio ha demostrado que su proporción oscila entre 0,002 y 0,12; en la mayoría de los casos, el valor es inferior a 0,03.

La radiactividad presente en la atmósfera de una mina contiene igualmente radionucleidos de período largo provenientes de las familias del ^{238}U y ^{235}U . Desde el punto de vista de la contaminación interna, revisten importancia el ^{238}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{226}Ra y ^{210}Po . Las operaciones mineras tales como perforaciones y explosiones de barrenos producen la suspensión en el aire de polvo que contiene estos nucleidos de período largo que, en la mayoría de los minerales se encuentran cercanos al equilibrio radiactivo.

* Miembro de la Sección de Seguridad Radiológica, de la División de Seguridad Nuclear del Organismo.

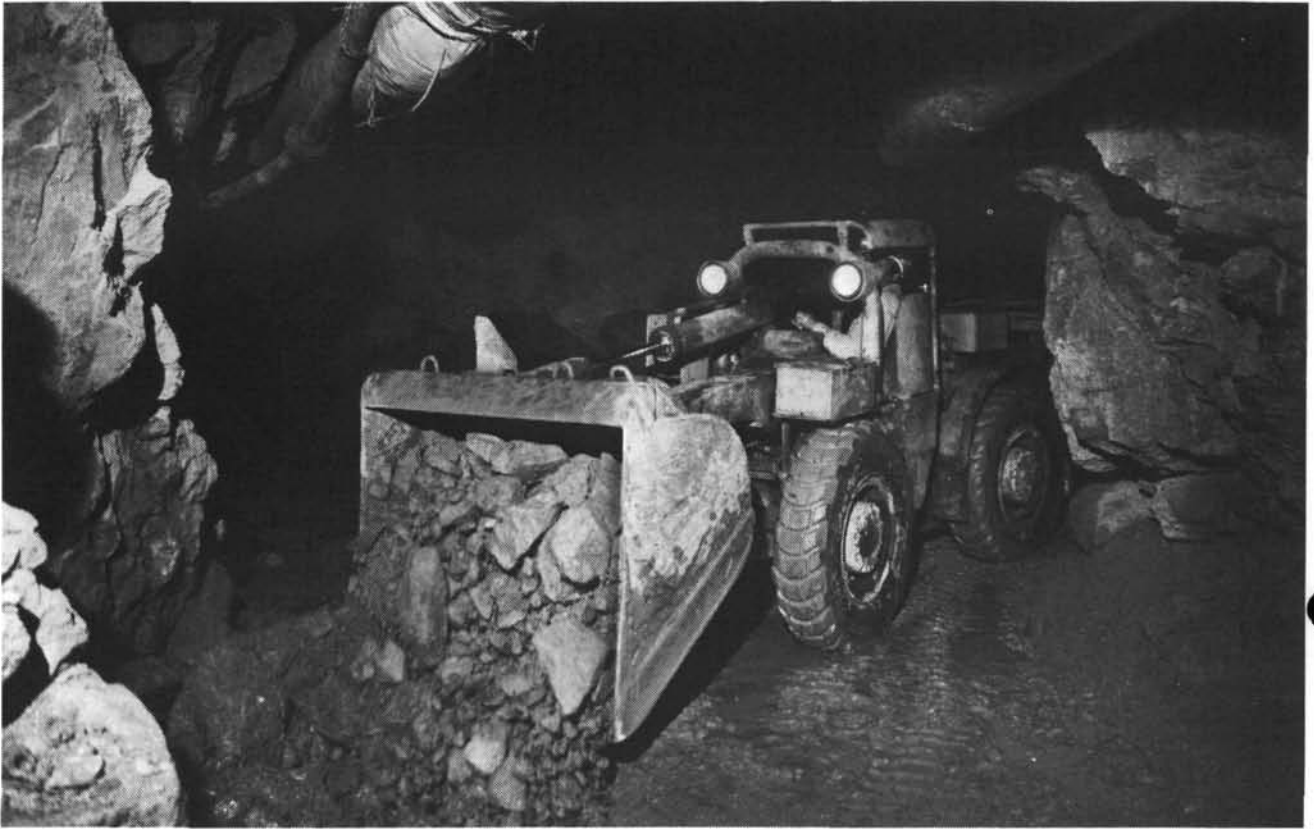
Los peligros de irradiación externa en las minas de uranio se deben a las radiaciones beta y gamma emitidas por los cuerpos mineralizados. Los niveles de radiación externa en la mayoría de las minas son generalmente bajos y no crean problemas importantes. En las minas en las que la ley del mineral es relativamente alta, la radiación externa representa un peligro apreciable.

En las plantas de tratamiento de uranio, el radón y sus descendientes presentan por lo común solo un pequeño peligro de inhalación, en comparación con los minerales y polvos de uranio, aunque se pueden encontrar concentraciones de radón importantes cerca de las tolvas de depósito y de los circuitos de trituración y de molido. Las operaciones de trituración y de molido, así como las de preparación del producto final, son actividades caracterizadas por el desprendimiento de polvos. En las etapas iniciales de trituración y de molido, los radionucleidos de período largo tienden a conservarse en equilibrio, aunque éste se perturba en las operaciones siguientes. En las fases de precipitación y obtención, las soluciones y los sólidos que se manipulan son ricos en uranio, de manera que la radiactividad suspendida en el aire se debe predominantemente a dicho elemento. En las zonas de tratamiento de colas los radionucleidos presentes en el aire son principalmente el ^{230}Th , el ^{226}Ra y el polonio.

La exposición de los trabajadores de las plantas de tratamiento de uranio a las radiaciones externas beta y gamma es en general comparable a la que sufren los trabajadores de las minas de uranio, aunque puede ser notablemente superior en ciertos lugares. Los niveles de radiación externa varían de unas plantas a otras, según la ley del mineral, el tipo y grado de concentración y la naturaleza del proceso, pero, por lo general, los peligros de irradiación externa adquieren significación especialmente en las fases finales de precipitación, filtrado, envase del concentrado y almacenamiento. El uranio recién separado es sobre todo un emisor alfa aunque, a medida que se van acumulando sus descendientes, aumentan las actividades beta y gamma. Al cabo de unos 24 días se alcanza el 50% de la actividad beta-gamma de equilibrio. De esta manera, en la zona de almacenamiento del producto los niveles de radiación aumentarán con el tiempo durante el que se almacene.

La contaminación de las superficies, de no existir una contención apropiada y limpieza regular, puede contribuir, por resuspensión, a la actividad presente en el aire. Este es un problema apreciable, especialmente en los lugares donde se manipulan los concentrados, como son las zonas de precipitación, filtrado, pesado y envase. En las zonas de tratamiento de colas también puede haber una contaminación superficial considerable.

Los desechos radiactivos, tanto sólidos como líquidos, pueden ser origen de otros riesgos de irradiación para los



En el interior de una mina de uranio de la región de la Vandée (Francia).

trabajadores de las minas de uranio y las plantas de tratamiento. Las precauciones especiales que se toman para la manipulación de los desechos radiactivos resultantes de la minería y el tratamiento del uranio son tema del siguiente artículo del presente número del Boletín del OIEA.

Límites de dosis

En la minería y el tratamiento del uranio reviste la más alta importancia el control de la exposición de los trabajadores a los descendientes del radón. La fijación del límite para estos descendientes se hace teniendo en cuenta el límite de dosis equivalente efectiva anual, que es 50 mSv (5 rem). La Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) ha recomendado un límite de incorporación por inhalación, LAI, para los descendientes del ^{222}Rn , que se expresa en forma de energía potencial cedida por los elementos radiactivos inhalados. Dicho límite es de 0,02 julios en un año. La correspondiente concentración derivada en aire, expresada en una unidad práctica de empleo muy difundido, es, en consecuencia, 0,4 niveles de trabajo (NT). El nivel de trabajo es la suma de las energías alfa liberadas por la desintegración de los descendientes del radón que se encuentran en equilibrio con 3,7 Bq (100 pCi) de dicho gas. Esto equivale a $1,3 \times 10^5$ MeV/litro. Por lo tanto, un nivel de trabajo representa cualquier combinación de descendientes de período corto del radón, contenidos en un litro de aire, que origine finalmente la emisión de $1,3 \times 10^5$ MeV de energía alfa, sin tener en cuenta el radón. Si un trabajador se expone a una concentración de descendientes del radón de 1 NT durante un mes de trabajo, su exposición se expresa entonces

como nivel de trabajo-mes (NTM). El límite anual expresado en NTM es $0,4 \times 12 = 4,8$ o sea 5 NTM.

El sistema de limitación de dosis de la CIPR exige que se sumen las exposiciones a la radiación externa y a la incorporación de materiales radiactivos. En las minas de uranio, el efecto de este requisito es que hay que mantener la inhalación del radón y sus descendientes por debajo del límite recomendado, con un margen que depende de la exposición a la radiación externa y al polvo del mineral. La fórmula combinada es:

$$\frac{H_E}{50 \text{ mSv}} + \frac{E_{RnD}}{0,02J} + \frac{E_{OD}}{1,3 \text{ Bqh } 1^{-1}} \leq 1$$

en la que H_E = Exposición a la radiación externa, expresada en dosis equivalente efectiva (mSv).
 E_{RnD} = Exposición a los descendientes del radón, expresada en julios.
 E_{OD} = Exposición al polvo de mineral (salvo a los descendientes del radón), expresada en becquerelios-hora por litro.

Los denominadores son los límites anuales correspondientes. El límite anual de incorporación por inhalación de polvo respirable de mineral es de 1,3 becquerelios-hora por litro ($\text{Bqh } 1^{-1}$).

Por razones prácticas a menudo se fijan otros límites además de los límites primarios de dosis equivalente. Las autoridades competentes o la dirección de un establecimiento fijan los límites autorizados, que son por lo general más bajos que los límites primarios o los derivados. Cuando la dirección de un establecimiento es la que estipula los límites autorizados, se les llama

límites operacionales. La autoridad competente puede establecer límites de referencia para cualquiera de las magnitudes medidas en el marco de los programas de protección radiológica, independientemente de que existan límites para dichas magnitudes. Un nivel de referencia no es un límite, pero resulta útil para determinar la conducta a seguir cuando el valor de una magnitud rebasa, o se prevea que va a rebasar, el nivel de referencia. Las formas más corrientes de niveles de referencia son el nivel de registro, el nivel de investigación y el nivel de intervención. El nivel de registro es el nivel de dosis equivalente o el nivel de incorporación por encima del cual el resultado de la vigilancia radiológica tiene suficiente interés para que valga la pena registrarlo y archivarlo. El nivel de investigación es el resultado de la vigilancia radiológica que indica posibles valores de la dosis equivalente o de la incorporación por encima de los cuales dicho resultado se considera lo suficientemente importante para justificar una ulterior investigación. El nivel de intervención es un nivel predeterminado por encima del cual se recomienda tomar disposiciones para reducir el nivel de radiación o evitar que el personal esté sometido a ese nivel de exposición hasta que se puedan adoptar medidas correctoras para reducir el nivel a un valor aceptable.

Vigilancia radiológica

Los principales objetivos de la vigilancia radiológica son evaluar las exposiciones profesionales con arreglo a normas aceptadas, y facilitar datos para el adecuado control. En este último aspecto, la vigilancia radiológica puede tener las siguientes funciones: detección y evaluación de las principales fuentes de exposición, evaluación de la eficacia del equipo de control, detección de anomalías en las actividades de explotación, y predicción de los efectos de actividades futuras sobre los niveles de contaminación.

El esfuerzo relativo dedicado a los diferentes tipos de vigilancia radiológica depende del grado y naturaleza del peligro. En las minas de uranio, los descendientes del radón constituyen el peligro predominante y por lo tanto requieren vigilancia continua. Siguen por su importancia la radiación externa y el polvo del mineral. En las plantas de tratamiento, el orden de importancia de los peligros varía según cada fase del proceso. En las zonas de almacenamiento de mineral, trituración y clasificación, el polvo del mineral constituye la fuente principal de exposición, los descendientes del radón se presentan en concentraciones bajas o moderadas, y la radiación externa es mínima. En las zonas de manipulación del producto, el polvo del concentrado es la fuente principal de exposición, aunque la intensidad de la radiación externa puede ser lo suficientemente alta para requerir vigilancia; los descendientes del radón son insignificantes o inexistentes. En las zonas de tratamiento intermedias, la radiación externa y los radionucleidos suspendidos en el aire son detectables, aunque su importancia suele ser escasa.

La exposición a los descendientes del radón por inhalación es el principal riesgo para la salud del personal de las minas de uranio y conviene dedicarle el mayor esfuerzo proporcional en el programa de vigilancia. En las minas, prácticamente toda la vigilancia se efectúa tomando

muestras por medios manuales a cortos intervalos de tiempo. Estas muestras tomadas a mano solo indican las concentraciones de radionucleidos existentes en el momento y el lugar de la toma y, por consiguiente, el muestreo se debe repetir periódicamente siempre que se quiere conocer las concentraciones medias.

En los últimos años se han desarrollado monitores personales para la vigilancia de los descendientes del radón, basados en la técnica de revelado de trazas por ataque químico, pero todavía no se utilizan en gran escala.

La concentración del polvo del mineral depende en gran parte de los trabajos de minería, y en la exposición del minero al polvo del mineral puede influir mucho su proximidad a las fuentes de radiación. Por consiguiente, conviene tomar las muestras de aire muy cerca del minero para medir con exactitud su exposición, si bien la concentración del polvo del mineral en las minas suele ser bastante baja, por lo que esta precaución no es siempre necesaria.

La vigilancia radiológica del aire en las plantas de tratamiento se hace también esencialmente por medio de muestras tomadas a mano, aunque se pueden utilizar muestreadores personales de aire para medir la exposición individual al polvo del mineral y al polvo del concentrado. La mayoría de los contaminantes suspendidos en el aire en las plantas de tratamiento provienen de fuentes localizadas, lo que da por resultado fuertes gradientes de la concentración en las proximidades de los puntos de escape. Por lo tanto, el lugar de toma de las muestras a mano, para vigilar la exposición, tiene más importancia que en las minas y es necesaria una mayor frecuencia de las mediciones porque las variaciones son más amplias. En las zonas donde se realicen operaciones en ambiente polvoriento, tales como vaciar los colectores de polvo, envasar en bidones el producto, o tratar muestras de los minerales y del concentrado, pueden ser necesarios muestreadores del aire de respiración de zonas, cuando no se usen muestreadores personales.

La radiación externa se vigila con instrumentos de inspección y dosímetros individuales.

Medidas de protección

Los métodos empleados para mantener un medio ambiente de trabajo seguro en las minas de uranio son esencialmente los mismos que los de las minas corrientes, aunque las propiedades peculiares del radón y sus descendientes imponen requisitos especiales, particularmente en lo que se refiere a la ventilación. Para una determinada concentración del radón, las concentraciones de los descendientes, y por lo tanto los peligros, aumentan rápidamente en función del tiempo, a causa del corto período de dichos descendientes. Así pues, cuanto más rápidamente se extraiga el aire contaminado de las zonas de trabajo, menor será la concentración de los descendientes del radón en cualquier punto determinado. Los métodos de control fundamentales son, por orden de importancia: la ventilación mecánica con fines de dilución, el confinamiento o la suspensión de la fuente de radiación, y la protección personal y la rotación de turnos. Como complemento de la ventilación mecánica se procede en pequeña escala a la depuración del aire para separar los descendientes del radón.



La cinta transportadora que conduce el mineral a la planta de tratamiento de l'Ecarpière, en la Vandée (Francia).

Se emplean sistemas primarios y auxiliares de ventilación mecánica para reducir la concentración del radón y sus descendientes en el aire de la mina. El sistema primario de ventilación impulsa el aire de dilución haciéndolo entrar, circular por la mina y salir de ella, a través de pozos y galerías, mediante grandes ventiladores situados por lo general en la superficie. Los sistemas auxiliares distribuyen el aire de los circuitos principales a los lugares situados bajo tierra mediante pequeños ventiladores y conductos flexibles. Se modifican, amplían o reemplazan los sistemas auxiliares a medida que cambia la disposición de la mina.

El radón y sus descendientes en las zonas agotadas se pueden confinar e impedir que pasen a las zonas en explotación mediante tabiques lo más herméticos posible. Como el radón es soluble en agua y emana de las infiltraciones cuando queda expuesto a la atmósfera de la mina, otra técnica útil de confinamiento es emplear tuberías para aislar el agua o desviarla. Si la roca es porosa se pueden suprimir las emanaciones de radón de las superficies de la mina elevando la presión de la atmósfera de la misma. Se ha comprobado que el empleo de revestimientos es útil para sellar los poros y grietas de las superficies de las rocas al descubierto.

Se usa, aunque no corrientemente, equipo protector personal, por ejemplo máscaras de respiración, en las zonas en que hay mucho polvo en suspensión. Se recomienda la rotación de turnos en las minas que tengan zonas con altos niveles de radiación externa para los cuales no existan medios prácticos de control.

En las plantas de tratamiento, las medidas de control para proteger la salud de los trabajadores difieren en intensidad y naturaleza de las aplicadas en las operaciones

subterráneas. El control se ejerce sobre todo por confinamiento, aunque se recurre en gran medida a la ventilación en determinados lugares para impedir el escape de polvos, gases y humos resultantes de las operaciones. Los procesos de producción en una planta de tratamiento están ampliamente automatizados, por lo que se reduce al mínimo el contacto del personal con los materiales. Los procedimientos de trabajo están concebidos de manera que se reduzca la probabilidad de un escape de contaminantes y regularmente se llevan a cabo operaciones adecuadas de limpieza para eliminar los contaminantes que se hayan acumulado en las superficies.

Conviene exigir una higiene personal perfecta a todos los trabajadores que estén en contacto con concentrados de uranio. Se recomienda que sea obligatorio lavarse antes de comer o de fumar, y ducharse al final de cada turno de trabajo. Conviene usar guantes para todo contacto directo con los concentrados. Los comedores, las salas de reposo y los vestuarios deberían estar aislados de las zonas de trabajo dotados de accesos adecuados a las instalaciones de aseo.

El empleo de medios protectores personales para la respiración es solo un complemento de las medidas tecnológicas de control. Lo principal es esforzarse siempre por mantener la concentración de radionucleidos en el aire de los lugares de trabajo dentro de límites admisibles. Sin embargo, en ciertas circunstancias, excepcionales por lo general, tales como un fallo del sistema de ventilación o trabajos de mantenimiento para los cuales no se disponga de ventilación adecuada, son necesarios aparatos o máscaras de respiración. El empleo de máscaras no es compatible con un trabajo que requiera esfuerzos físicos prolongados o completa libertad de movimiento.

Se recomienda que todas las personas empleadas en actividades de minería o de tratamiento de mineral de uranio se sometan a examen médico antes de iniciar dicho trabajo y a intervalos adecuados en lo sucesivo. Estos exámenes médicos previos y periódicos deberían ser apropiados para conocer el estado general de salud de los trabajadores, así como para prevenir y detectar alteraciones que puedan tener relación con su exposición profesional.

El examen previo al empleo debería ser minucioso. En general, los exámenes periódicos de los trabajadores expuestos conviene hacerlos a intervalos anuales. Estos exámenes deberían consistir en una investigación sobre el estado general de salud del trabajador, con especial atención a ciertos sistemas orgánicos. Se recomienda llevar a cabo un examen médico al terminar el empleo.

Mejoras necesarias

La tecnología actual en materia de vigilancia y control radiológicos es adecuada para mantener la seguridad del medio ambiente de trabajo, tanto en las minas como en las plantas de tratamiento de uranio. En comparación con otras tecnologías aplicadas en la industria nuclear, se han llevado a cabo pocas actividades de investigación y desarrollo en la esfera de la vigilancia y control radiológicos de las minas y plantas de tratamiento. En los últimos años este aspecto ha recibido considerable atención; sin embargo, son necesarias mejoras en todos los aspectos de la vigilancia y control radiológicos.