



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Viceministerio
de Minas

Dirección
General de Asuntos
Ambientales Mineros

**REPÚBLICA DEL PERÚ
MINISTERIO DE ENERGÍA Y MINAS**

**GUÍA PARA LA PROTECCIÓN DEL
TRABAJADOR Y EL AMBIENTE
DURANTE LA EXPLORACIÓN
DE URANIO**

SUB - SECTOR MINERÍA

**Dirección General de
Asuntos Ambientales Mineros**



PERÚ

Ministerio
de Energía y Minas

Viceministerio
de Minas

Dirección
General de Asuntos
Ambientales Mineros

**GUÍA PARA LA PROTECCIÓN DEL TRABAJADOR Y
EL AMBIENTE DURANTE LA EXPLORACIÓN
DE URANIO**

SUB - SECTOR MINERÍA

**DIRECCIÓN GENERAL DE ASUNTOS
AMBIENTALES MINEROS**

LIMA – PERÚ

Preparado por:

Consortio Roche, Golder, ACCC – Año 2011

Por encargo del



PROYECTO DE REFORMA DEL
SECTOR DE RECURSOS
MINERALES DEL PERU

Todos los derechos reservados. Esta guía no puede ser total o parcialmente reproducida, memorizada en sistemas de archivo o transmitida en cualquier forma o medio electrónico, mecánico, fotocopia o cualquier otro sin la autorización previa del Ministerio de Energía y Minas del Perú.

Publicado: Año 2013

ÍNDICE

Índice	Sección	Página
1	INTRODUCCIÓN	1
	1.1 Introducción y objetivos.....	1
	1.2 Antecedentes	2
	1.3 Propósito de esta Guía.....	2
	1.4 Aplicación de la Guía.....	2
2	MARCO LEGAL.....	3
	2.1 Marco Regulatorio para el uso seguro de las radiaciones	3
	2.1.1 Ministerio de Energía y Minas (MINEM)	3
	2.1.2 Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).....	3
	2.1.3 Regulaciones en Radiaciones Aplicable a las Actividades Mineras de Uranio	3
	2.2 Responsabilidades	3
3	MATERIAL RADIATIVO Y RADIACIONES.....	4
	3.1 Descripción del material radiactivo de origen natural (NORM).....	4
	3.1.1 Radiactividad, Radionúclidos y Radiación Ionizante.	4
	3.1.2 Radiación Natural del Ambiente.....	6
	3.1.3 Radionúclidos de Origen Natural en el Ambiente	6
	3.1.3.1 Series de Desintegración Radiactiva de Uranio y Torio	6
	3.1.3.2 Gas Radón	7
	3.1.4 Tipos de Radiación Ionizante	7
	3.1.5 Mediciones de Radiación Ionizante.....	8
	3.2 Protección de radiación	9
	3.2.1 Efectos de la Radiación en la Salud Humana	9
	3.2.2 Unidades de Dosis de Radiación	10
	3.2.3 Normas Nacionales para la Protección contra las Radiaciones y Límites de Dosis	11
4	GUÍAS PARA TRABAJADORES DURANTE LA EXPLORACIÓN DE URANIO	12
	4.1 Fuentes de exposición para el personal de exploración	12
	4.2 Protección contra la radiación	13
	4.2.1 Protección contra las radiaciones Gamma	13
	4.2.2 Protección contra el radón y sus descendientes.....	13
	4.2.3 Protección contra Inhalación e ingestión de polvo de mineral de Uranio	13
	4.3 Determinación del programa para la protección radiológica del trabajador	14
5	GUÍA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DURANTE LA EXPLORACIÓN DE URANIO	17
	5.1 Protección general de la salud humana y del medio ambiente	17
	5.1.1 General	17
	5.1.2 Protección de la población contra las radiaciones.....	17
	5.1.3 Consideraciones no Radiológicas	17
	5.2 Gestión de Material Radiactivo durante la exploración.....	18

5.2.1	Manejo de materiales y almacenamiento	18
5.2.2	Plan de rehabilitación	19
5.2.3	Documentación	19
6	PARTICIPACIÓN CIUDADANA PARA LOS PROYECTOS DE URANIO.....	20
	REFERENCIAS.....	21

Lista de Tablas

Tabla 1 Límites de dosis para la exposición ocupacional y del público

Lista de Figuras

Figura 1	El átomo	4
Figura 2	Isótopos de Hidrógeno.....	4
Figura 3	Desintegración radiactiva del isótopo inestable U-238 en Th-234 por emisión alfa.....	5
Figura 4	Desintegración del U-238 (padre) y crecimiento de su descendiente el Th-234 (hijo) ..	5
Figura 5	Serie de Desintegración de Uranio-238	6
Figura 6	Serie de Desintegración de Torio-232	7
Figura 7	Tipos de Radiación	8
Figura 8	Contador Geiger - Muller	8
Figura 9	Detector de centelleo.....	9
Figura 10	Dosímetro TLD.....	9
Figura 11	Metodología general para determinar el nivel de protección contra las radiaciones..	16

Lista de Anexos

Anexo 1 Límites de Dispensa Incondicional para la Exploración de Uranio

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Introducción y objetivos

La presente *Guía para la Protección del Trabajador y el Ambiente durante la Exploración de Uranio* ha sido elaborada por el equipo responsable del Proyecto de Reforma del Sector de Recursos Minerales del Perú (PERCAN), auspiciado por la Agencia Canadiense de Desarrollo Internacional (ACDI), para el Ministerio de Energía y Minas (MEM) y revisado por el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

En la actualidad no existen minas de uranio en el Perú; sin embargo, se vienen realizando actividades de exploración de uranio en la región Puno. Los riesgos no radiológicos relacionados con la exploración de uranio incluyen:

- Alteración de los componentes físicos del sitio (por ejemplo: trincheras abiertas, pozos de perforación no sellados);
- Potencial descarga de contaminantes transportados por el agua;
- Inadecuada disposición de residuos peligrosos y no peligrosos generados durante la exploración;
- Potencial descarga de contaminantes químicos provenientes del emplazamiento; y,
- Potencial alteración de especies de plantas y animales que resulten en peligro.

Además de los riesgos relacionados con la exploración de otros minerales, la exploración de uranio presenta riesgos radiológicos originados por el material radiactivo extraído a la superficie. La presente guía trata sobre el control de los riesgos radiológicos generados por la exploración de uranio y presenta recomendaciones adicionales a las normalmente aplicadas en las actividades de exploración de otros minerales.

Este documento presenta las orientaciones para el monitoreo y control de riesgos radiológicos asociados con la exploración de uranio. La extracción de muestras mineralizadas radiactivas durante las actividades de exploración y la extracción masiva de mineral durante la producción de uranio, originarán exposición a las radiaciones a los trabajadores y, en menor grado, al público. Por ello, el mineral de uranio radiactivo extraído mediante estas actividades debe ser confinado para evitar la dispersión de los materiales radiactivos en el ambiente.

Durante las primeras fases de la exploración de uranio es posible que la cantidad y concentración de los materiales radiactivos recuperados o residuos radiactivos producidos, sea limitada. En las etapas más avanzadas de la exploración podría haber mayores cantidades de materiales radiactivos extraídos y también residuos radiactivos. Sin embargo, estas cantidades serían relativamente limitadas en comparación a la cantidad de residuos radiactivos que se generarían durante la producción de uranio.

En la etapa de explotación y beneficio de uranio, la cantidad de residuos radiactivos generados será mayor que en cualquier etapa de exploración. Incluso la exposición a la radiación será mayor para los trabajadores involucrados en las etapas señaladas que para aquellos que realizan actividades de exploración de uranio. En consecuencia, la normatividad para la explotación y beneficio de uranio es mucho más rigurosa, que la aplicable a la exploración.

El propósito de esta guía es proporcionar lineamientos para la protección del trabajador, del público y el ambiente ante riesgos radiológicos relacionados durante la exploración de uranio. Además, presenta información general sobre minerales radiactivos y la protección contra las radiaciones, así como los límites de dosis de radiación para el trabajador y el público.

1.2 Antecedentes

Como se mencionara anteriormente, con el inicio de las actividades de exploración y la potencial explotación y beneficio de uranio en el Perú, surge la necesidad de desarrollar normas y guías para la protección radiológica de los trabajadores, el público y el ambiente, que regulen y orienten adecuadamente estas actividades.

Por lo general, las actividades de exploración y explotación y beneficio de uranio, así como la seguridad radiológica son reguladas tanto por reglamentos federales como estatales en muchos países, por ejemplo: Canadá, Kazajistán y Australia.

Asimismo, organizaciones internacionales como la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) constituyen entidades que elaboran, asesoran y recomiendan estándares de seguridad y de protección contra las radiaciones. Existen muchas disposiciones legales y publicaciones, tanto nacionales como internacionales, sobre protección contra las radiaciones y el manejo de materiales radiactivos, que son mencionados en las referencias. Estas describen los criterios, regulaciones y las buenas prácticas de gestión adoptadas en muchos países y sirvieron de consulta para la elaboración del presente documento. En caso de requerir información más detallada se recomienda consultarlas.

1.3 Propósito de esta guía

Esta guía busca proporcionar información relevante y aplicable, así como presentar recomendaciones para el manejo adecuado de los riesgos radiológicos relacionados con la exploración de uranio y está dirigido al personal que supervisará y dirigirá las actividades de exploración minera. Esta guía es complementaria a otras regulaciones y estándares aplicables a los riesgos no radiológicos, que también se presentarán en la exploración de uranio, en concordancia con el Decreto Supremo No 020-2008-EM "Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera".

Esta guía no aplica a exploración subterránea avanzada de uranio. Es muy probable que los trabajos de excavación subterránea adyacentes a un cuerpo de mineral de uranio presenten riesgos ocupacionales y ambientales que están más allá del alcance de este documento.

1.4 Aplicación de la Guía

Cada emplazamiento presenta desafíos únicos, en consecuencia, deberá evaluarse las condiciones específicas del mismo para la aplicación de estos lineamientos. En el caso de encontrarse ante situaciones que estén fuera del alcance de estos, se deberá buscar y considerar adecuadamente recursos e información adicionales, e implementar las modificaciones que sean necesarias para la protección de los trabajadores.

La presente guía no incluye:

- Detalle de los límites de concentraciones aceptables de radionúclidos en agua o suelo.
- Orientación detallada sobre la normas de seguridad radiológica para la explotación y beneficio de uranio.

Dado que en la exploración de uranio probablemente se produzcan cantidades limitadas de residuos de bajo nivel radiactivo, esta guía presenta recomendaciones para la disposición de los mismos durante las fases iniciales y para la remediación de las áreas de perforación.

Se recomienda considerar, desde la etapa inicial de un proyecto, la normatividad para la explotación y beneficio de uranio, antes que las actividades de exploración ingresen a la fase

de operación. Es necesario mencionar que la existencia de un marco regulador apropiado, beneficiará a las compañías que consideren el desarrollo futuro de un yacimiento de uranio.

2 MARCO LEGAL

2.1 Marco regulador para el uso seguro de las radiaciones

2.1.1 Ministerio de Energía y Minas (MINEM)

Las actividades de exploración minera, incluyendo las de uranio, están reguladas por el Ministerio de Energía a través del D.S. N° 020-2008-EM "Reglamento Ambiental para las Actividades de Exploración Minera".

2.1.2 Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN)

De acuerdo al artículo 3° de la **Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante** Ley N° 28028, la autoridad competente para regular las prácticas que dan lugar a exposición a radiación ionizante es el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN), en adelante la Autoridad Nacional. En la actualidad esta entidad ejerce las funciones establecidas por la ley, a través de la Oficina Técnica de la Autoridad Nacional (OTAN). El IPEN es un organismo público que pertenece al sector energía y minas.

2.1.3 Regulaciones de protección radiológica aplicables a actividades mineras de uranio.

El **Reglamento de Seguridad Radiológica** establece los requerimientos básicos para la protección contra la exposición a la radiación ionizante y la seguridad de las fuentes de radiación que puedan causar exposición, que incluye a los minerales de uranio. Su objetivo es garantizar la seguridad del trabajador, el público y el ambiente ante riesgos radiológicos asociados con fuentes de radiaciones ionizantes.

2.2 Responsabilidades

La Ley N° 28028 "Ley de regulación del uso de fuentes de radiación ionizante", y su reglamento, indica las responsabilidades del Instituto Peruano de Energía Nuclear (Autoridad Nacional) y de las personas naturales y jurídicas en temas relacionados con las prácticas que involucran exposición a las radiaciones ionizantes.

La Autoridad Nacional tiene a su cargo las funciones de regulación, autorización, control y fiscalización del uso de fuentes de la radiación ionizante y la seguridad nuclear, así como la protección física y salvaguardia de los materiales nucleares. La OTAN (Oficina Técnica de la Autoridad Nacional) es la oficina responsable de realizar las acciones delegadas a la Autoridad Nacional. Las personas naturales o jurídicas autorizadas son responsables de cumplir las disposiciones de los reglamentos y los límites que involucren exposición a radiación ionizante o con fuentes de radiación, deberán contar con la autorización correspondiente expedida por la OTAN, antes de la ejecución de las mismas. Esto incluye el cumplimiento de lo prescrito para la protección física y salvaguardias, de conformidad con los tratados internacionales suscritos y ratificados por el Perú. Las personas naturales o jurídicas autorizadas son responsables de la implementación de las disposiciones de los reglamentos y los límites y condiciones establecidos en las autorizaciones otorgadas por la OTAN.

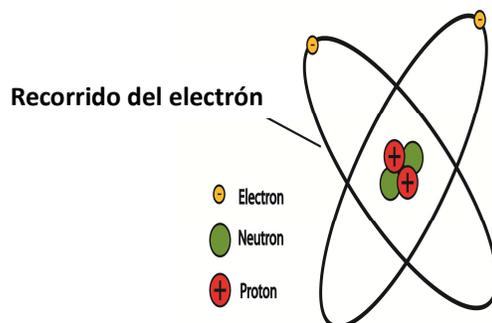
3 MATERIAL RADIATIVO Y RADIACIONES

3.1 Descripción del material radiactivo de origen natural (NORM)

3.1.1 Radiactividad, radionúclidos y radiación ionizante.

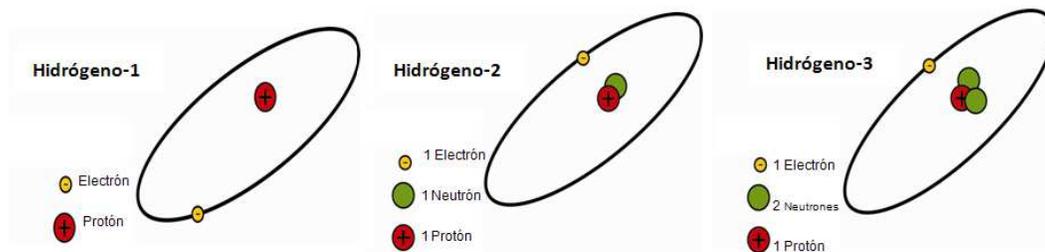
Los átomos se componen de un núcleo formado por protones y neutrones, alrededor del cual se encuentran los electrones.

Figura 1.- El átomo



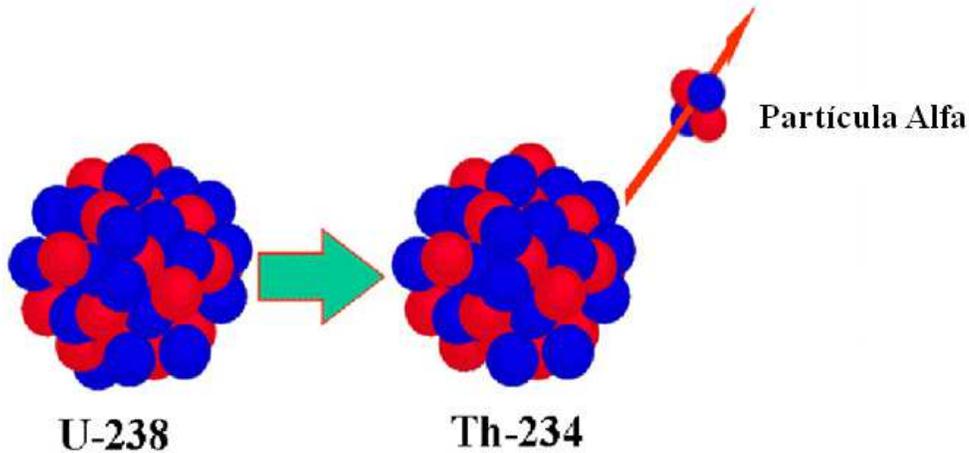
El número de protones en el núcleo determina las propiedades químicas de un elemento. Así, el número de protones de un determinado elemento es constante, pero el número de neutrones puede diferir. El número de neutrones de un elemento determina el isótopo de dicho elemento. Los isótopos de un elemento se denotan por el nombre del elemento seguido del número total de protones y neutrones en el núcleo del átomo. La Figura 2 presenta algunos isótopos del elemento más simple, el hidrógeno.

Figura 2.- Isótopos de Hidrógeno



En algunos isótopos, la combinación de protones y neutrones en el núcleo provoca la inestabilidad del átomo. El proceso espontáneo por el cual átomos de núcleos inestables disipan su exceso de energía emitiendo una partícula, capturando un electrón orbital o fisionándose se denomina desintegración nuclear. La Figura 3 muestra la desintegración del Uranio-238 (U-238) que decae por desintegración alfa en su descendiente el radionúclido Torio-234 (Th-234).

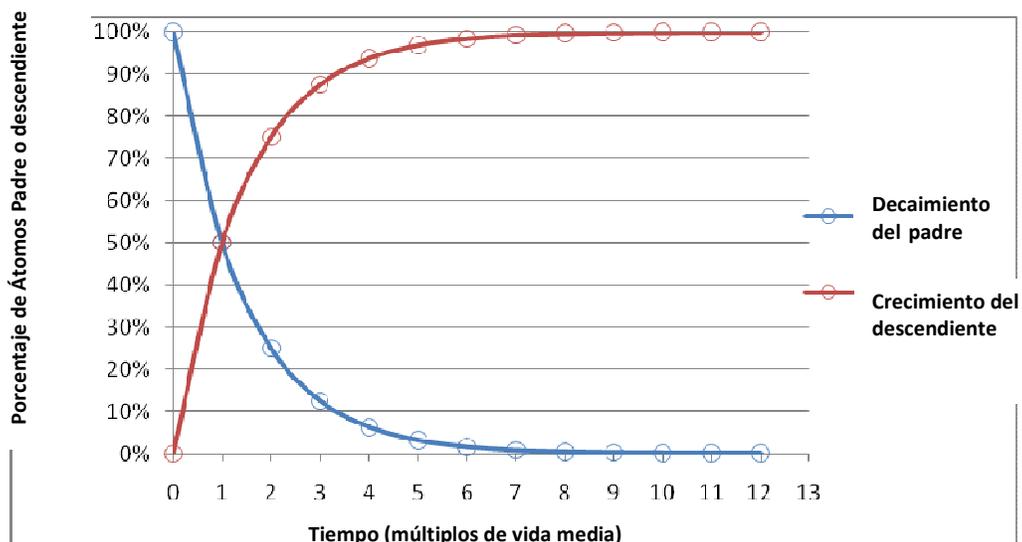
Figura 3.- Desintegración radiactiva del isótopo inestable U-238 en Th-234 por emisión alfa



Las partículas u ondas electromagnéticas de alta energía emitidas por el núcleo radioactivo se denominan radiación ionizante dado que presentan suficiente energía para dividir los enlaces químicos de los materiales que atraviesa. Un radionúclido puede ser identificado por sus características radioactivas. Éstas incluyen el período de semidesintegración, el tipo y la energía de la radiación emitida.

La Figura 4 presenta la curva de desintegración de U-238 y el crecimiento de su primer descendiente Th-234 en porcentaje de átomos y múltiplos del período de semidesintegración de ambos. El U-238 y el Th-234 tienen períodos de semidesintegración de 4.5×10^9 años (4.5 mil millones de años) y 24 días respectivamente. Es pertinente señalar que transcurridos 7 períodos de semidesintegración, la cantidad inicial de cualquier radionúclido se reduce aproximadamente a 1%.

Figura 4.- Desintegración del U-238 (padre) y crecimiento de su descendiente el Th-234



3.1.2 Radiación natural del ambiente

Todos estamos expuestos a la radiación natural del ambiente. La radiación natural proviene del sol, las estrellas y de los isótopos radiactivos de origen natural presentes en las rocas, el suelo e incluso dentro de nuestros cuerpos.

3.1.3 Radionúclidos de origen natural en el ambiente

La concentración de minerales radiactivos de origen natural (NORM) tiende a variar en los diversos lugares del planeta. Algunas prácticas industriales –como la producción de fertilizantes, petróleo y gas– concentran materiales radiactivos de origen natural ya presentes. Los principales elementos radiactivos de origen natural encontrados en el ambiente son el uranio, el torio y el potasio. Los átomos de uranio y torio originan cadenas de desintegración radiactiva donde se producen un número de sustancias radiactivas de menor período de desintegración. El radón radiactivo, de naturaleza gaseosa, es parte importante de estas cadenas de desintegración radiactiva. La presencia de radón de origen natural en los hogares es la mayor fuente de exposición a la radiación natural a nivel de toda la población mundial.

3.1.3.1 Series de desintegración radiactiva de Uranio y Torio

Las dos series de desintegración radiactiva más importantes son las del Uranio-238 y el Torio-232. Las Figuras 5 y 6 muestran los isótopos descendientes de las series de desintegración del Uranio-238 y Torio-232 indicándose su símbolo químico, período de semidesintegración, y principal(es) tipo(s) de radiación emitida durante la desintegración. En la serie del uranio se presentan 14 isótopos inestables, cada uno de los cuales se desintegrará y emitirá un tipo específico de radiación. De manera similar son 11 los isótopos inestables en la serie de desintegración de Torio-232. Ambas series de desintegración terminan en el isótopo del Plomo-206, que por ser estable no emite radiaciones.

Figura 5.- Serie de desintegración de Uranio-238

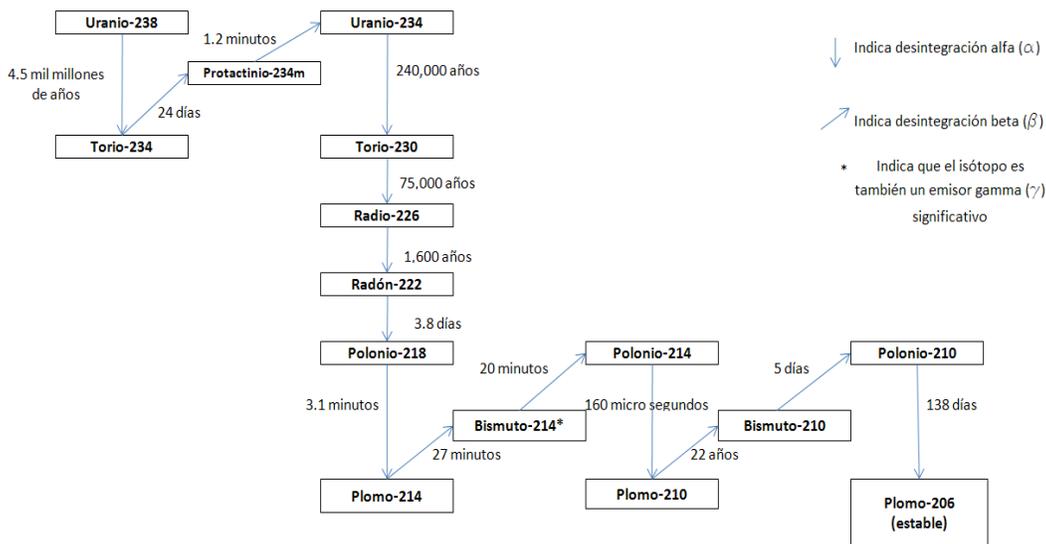
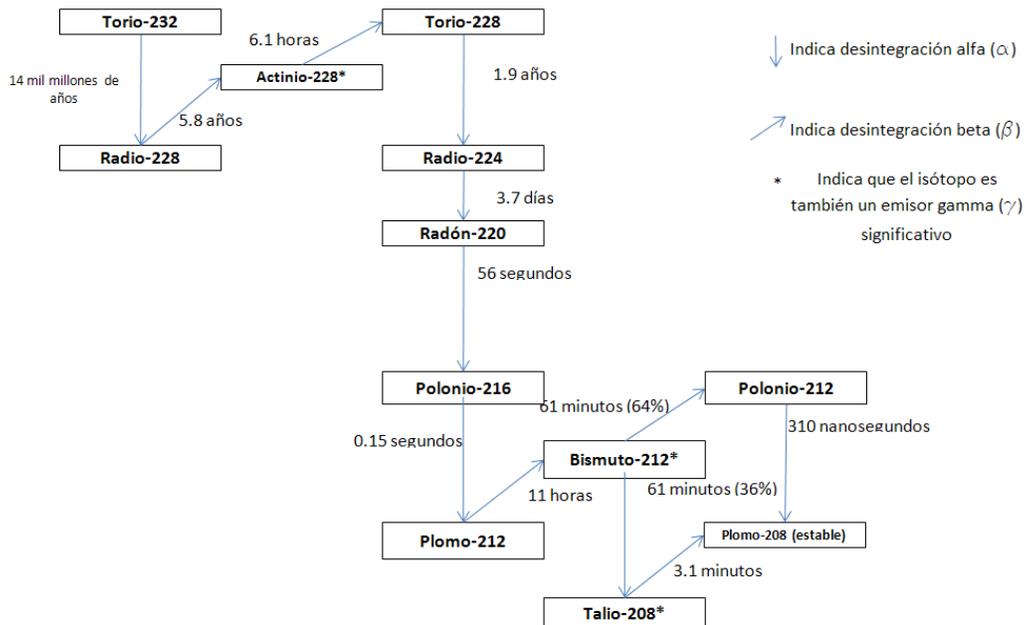


Figura 6.- Serie de desintegración de Torio-232



3.1.3.2 Gas radón

El radón es un gas radiactivo que se produce tanto en la serie de desintegración de uranio como en la del torio. Los dos tipos de isótopos de radón de interés son el Radón-222, que se produce en la cadena de desintegración de Uranio-238, y el Radón-220, que se produce en la cadena de desintegración de Torio-232.

Cuando se produce el gas radón, éste tiende a liberarse por las porosidades de la roca o sedimento en donde se originó y escapa al aire del ambiente. Las personas que respiren el aire contaminado con radón estarán expuestas a radiación por la inhalación del gas y de los isótopos radiactivos descendientes del radón que se forman por la desintegración radiactiva de este radioisótopo.

Al considerar el decaimiento del Radón-222, como se muestra en la Figura 5, la descendencia de radón de corta duración que sigue (Po-218, Pb-214, Bi-214, Po-214) es la que emite la dosis primaria a los pulmones. De aquí se deriva que la medición de radón en el lugar de trabajo corresponde usualmente a la medición de progenie de radón de corta duración. Normalmente el gas radón como tal no presenta un riesgo de radiación.

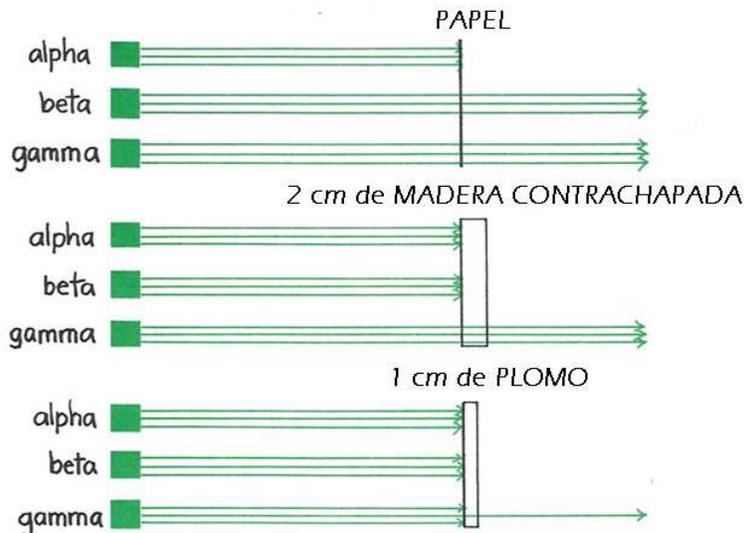
3.1.4 Tipos de radiación ionizante

Existen tres tipos de radiación que se producen en la desintegración de las series de Uranio-238 y Torio-232: Alfa, Beta y Gamma. La Figura 7 ilustra los tipos de radiación y su capacidad de penetración.

- La radiación Alfa (α) está compuesta por dos protones y dos neutrones fuertemente enlazados. La radiación Alfa es de corto alcance y tiene un gran poder ionizante, que rompe los enlaces de las moléculas en la corta distancia que recorre. Puede ser bloqueado por una hoja de papel o ropa delgada.
- La radiación Beta (β) son electrones y recorren algunos metros en el aire pudiendo ser bloqueadas por una lámina de plástico, madera gruesa o incluso la ropa gruesa.

- La radiación Gamma (γ) es similar a los rayos de luz, pero tiene mucha más energía. La radiación gamma puede penetrar fácilmente en el cuerpo humano, pudiendo ser atenuado por el plomo y el concreto, entre otros materiales de alta densidad.

Figura 7.- Tipos de radiación



3.1.5 Mediciones de radiación ionizante

Ninguno de nuestros cinco sentidos puede detectar la radiación ionizante. Sin embargo, existen instrumentos que pueden medir la radiación hasta niveles muy bajos. El instrumento comúnmente utilizado para medir niveles de radiación es el contador Geiger - Muller (Figura 8). Los detectores de centelleo (Figura 9) son utilizados durante la exploración de uranio y pueden indicar la ley de las muestras de mineral extraído de las perforaciones. El personal de exploración debe llevar dosimetría individual, que puede ser termoluminiscencia (TLD) (Figura 10) o de otro tipo, cuando se requiera, para medir la cantidad de radiación que recibe. Estos equipos indican los niveles de exposición del trabajador a la radiación gamma.

Figura 8.- Contador Geiger - Muller



Figura 9 Detector de centelleo



Figura 10 Dosímetro TLD



3.2 Protección de radiación

3.2.1 Efectos de la radiación en la salud humana

Se han realizado muchas investigaciones sobre los efectos de la exposición a las radiaciones en la salud humana y sus consecuencias son muy conocidas cuando se reciben elevados niveles de radiación. La principal preocupación del trabajador involucrado en actividades con uranio es la posibilidad que la exposición a la radiación pueda originar daños a su salud. Por esta razón es importante controlar los niveles de exposición en las personas que trabajan con uranio. Limitar la cantidad de radiación a la que están expuestos los trabajadores reducirá el riesgo de daños a su salud. En el Reglamento de Seguridad Radiológica del Perú se encuentran establecidos los límites de exposición a la radiación para el trabajador y el público, que son iguales a los recomendados por los organismos internacionales especializados.

Es poco probable que durante la exploración de uranio el trabajador alcance los límites de dosis de radiación descritos en la Tabla 1 Sección 3.2.3, excepto durante las operaciones de explotación y beneficio donde se trabaja con mineral de alta ley ($> 0.1\%$).

3.2.2 Unidades de dosis de radiación

La medición de la radiactividad y radiación requiere la definición de diferentes unidades. En esta sección se definirá las establecidas según el Sistema Internacional de Unidades (S.I.). Como aún se utilizan un grupo de unidades antiguas se presenta la equivalencia entre éstas y las nuevas.

La cantidad de radiactividad se mide por la velocidad a la que se desintegra una sustancia radiactiva. Así, la Actividad es la velocidad de desintegración de una sustancia radiactiva y se mide en becquerelios (Bq) o en la unidad antigua denominada curie (Ci). Su equivalencia es:

- 1 Bq = 1 desintegración por segundo (dps)
- 1 Ci = 37 000 000 000 Bq
- 1 Bq = 27 pico curie (pCi)

Cuando se determina la actividad del material radiactivo se define la cantidad de material radiactivo presente. Las concentraciones de la actividad (Bq/m³ o Bq/g) son parámetros importantes cuando se mide el nivel de contaminación radiactiva en el ambiente y se determina el nivel de uranio en el mineral.

Al penetrar un objeto, la radiación perderá energía porque ioniza los átomos que atraviesa. Se denomina Gray (Gy) a la unidad que mide la cantidad de energía absorbida por la masa del material irradiado. La **dosis absorbida** es la energía depositada por la radiación en un material y se mide en Gray (Gy) o en la unidad antigua denominada Rad.

- 1 Gy = 1 julio por kilogramo
- 1 Gy = 100 rad

La dosis absorbida puede medirse físicamente e indica la cantidad de radiación que recibe el trabajador. Sin embargo, los riesgos de esta exposición a la radiación dependerán del tipo de radiación ionizante (alfa, beta o gamma) que absorbe el cuerpo, así como de la cantidad de energía absorbida. Debido a que algunos tipos de radiación ionizante presentan mayor probabilidad de daño que otros, se utiliza la magnitud dosis equivalente para expresar la probabilidad de daño por la exposición y se mide en Sievert (Sv) o en la unidad antigua denominada Rem.

- 1 Sv = 100 rem

Para las radiaciones gamma y beta, la dosis absorbida en Gray es igual a la dosis equivalente en Sievert. En cambio, una cantidad igual de dosis absorbida de radiación alfa presenta 20 veces más de probabilidad de daño por el alto poder ionizante que posee. Por esta razón, 1 Gy de dosis absorbida de radiación alfa, equivale a 20 Sv de dosis equivalente. De allí que, la probabilidad que los miembros de la población contraigan cáncer por exposición a la radiación, sea alrededor de 05 personas de una población de 100 000 personas que reciben una dosis efectiva de 1 mSv. Estos casos son adicionales a los que se producen por otras causas diferentes a la exposición a las radiaciones.

Algunas exposiciones a la radiación pueden involucrar dosis de radiación en todo el cuerpo, mientras que otras (por ejemplo: la inhalación de los descendientes del radón) pueden exponer un tejido u órgano del cuerpo (el pulmón). La **dosis efectiva** permite relacionar los riesgos de la exposición a radiación de uno o más tejidos u órganos con los riesgos de la exposición de todo el cuerpo. La relación entre la **dosis equivalente** y la **dosis efectiva** se determina mediante:

Dosis Efectiva = (dosis equivalente a un tejido u órgano) x (factor de ponderación del tejido u órgano)

donde el factor de ponderación depende del tejido u órgano irradiado. Como ejemplo, el factor de ponderación para los pulmones es 0.12. En el caso de la exposición a la radiación de todo el cuerpo, todos los tejidos son irradiados y, por lo tanto, la dosis equivalente y la dosis efectiva total son iguales.

El artículo 5° del Reglamento de Seguridad Radiológica del Perú presenta las ecuaciones necesarias para la estimación de la dosis absorbida, dosis equivalente y dosis efectiva.

3.2.3 Normas nacionales para la protección contra las radiaciones y límites de dosis

El Reglamento de Seguridad Radiológica del Perú define como "prácticas" las actividades humanas que introducen nuevas fuentes o vías de exposiciones adicionales o extiende la exposición a más personas, de forma que se incremente la exposición o la probabilidad de exposición de personas o el número de personas expuestas. A partir de esta definición se derivan los principios para el manejo de exposición a la radiación. La Autoridad Nacional ha adoptado los principios generales de la CIPR para desarrollar un sistema de protección radiológica para las prácticas propuestas con fuentes de radiaciones, y que se mencionan en el artículo 12° del referido reglamento:

Artículo 12°. *Todas las prácticas propuestas y continuas y las fuentes adscritas a ellas, deben cumplir los siguientes principios:*

a. Justificación. Ninguna práctica o fuente adscrita a la práctica será autorizada a no ser que produzca en los individuos expuestos o en la sociedad un beneficio suficiente para compensar los daños que por radiación pudiera causar.

b. Limitación. Las exposiciones normales de personas no serán mayores a los límites establecidos en el Anexo I del Reglamento de Seguridad Radiológica.

c. Optimización. La protección y seguridad se optimizarán de forma que la magnitud de las dosis individuales, el número de personas expuestas y la probabilidad de sufrir exposiciones, sean las más bajas que razonablemente puedan alcanzarse (principio ALARA), considerando debidamente los factores sociales y económicos prevalentes del país.

El Reglamento de Seguridad Radiológica adoptó los límites de dosis recomendados por la CIPR para la Exposición Ocupacional y del Público. Los límites de dosis están expresados en valores de dosis efectiva y se presentan en la Tabla 1. El reglamento define al trabajador expuesto como la persona que trabaja para un empleador y tiene derechos y deberes reconocidos en lo que respecta a seguridad y protección durante la realización de su trabajo. La exposición ocupacional se define como la exposición que recibe el trabajador durante su labor, con excepción de las exposiciones excluidas del ámbito del reglamento y de las exposiciones causadas por fuentes o prácticas exentas por el reglamento.

Es necesario mencionar que no es suficiente mantener los niveles de exposición dentro de los límites de dosis para el individuo, si es posible y razonable realizar el trabajo a menores niveles de exposición (principio ALARA). Para el caso de la exposición del público que vive en las áreas aledañas o circundantes, el Reglamento indica que la optimización de las medidas de protección y seguridad con respecto a una fuente particular deberán ser tales, que las dosis efectivas anuales a recibirse, deben estar por debajo del límite establecido de 1 mSv/año. Adicionalmente, es recomendable una restricción de dosis a 0.3 mSv/año. En el caso de exceder el valor de la restricción de dosis no significa incumplimiento de los límites de dosis

establecidos; sino que, resalta la necesidad de una evaluación de la efectividad del programa para la protección del público y el ambiente.

Tabla 1: Límites de dosis para la exposición ocupacional y del público

Límites de Dosis ^(A)		
Exposición	Ocupacional	Público
Dosis Efectiva	20 mSv en un año ^(B)	1 mSv en un año
Dosis Equivalente en un año en:		
Cristalino	150mSv	15 mSv
Piel	500mSv	50 mSv
Extremidades	500mSv	

(A) Estos límites no incluyen la exposición natural de fondo y exposición médica.

(B) Como promedio en un período de 5 años consecutivos siempre que la dosis efectiva no sobrepase 50 mSv en ningún año.

(C) Cuando una trabajadora esté embarazada debe informar a su empleador para modificar sus condiciones de trabajo, de manera que la dosis sobre la superficie del abdomen de la trabajadora no sea mayor a 2 mSv durante el período de gestación.

Aunque la exposición a las radiaciones de los trabajadores durante la exploración de uranio es posible que sea menor a los límites de dosis, el empleador deberá establecer un programa de protección contra las radiaciones y aplicar el principio de optimización (ALARA) para reducir y minimizar las exposiciones.

Debido a que la cantidad de mineral expuesto a la superficie será limitada, el potencial de situaciones de emergencia ocasionadas por las actividades de exploración de uranio será bajo. En la eventualidad de que surgiera alguna contingencia deberá haberse preparado un plan para hacerle frente conforme se establece en el artículo 79° del Reglamento de Seguridad Radiológica que dispone:

Artículo 79°. *Las situaciones que requerirán de la intervención son:*

a. situaciones de accidente y de emergencia donde se ha activado un plan de emergencia o instrucciones de emergencia.

4 GUÍAS PARA TRABAJADORES DURANTE LA EXPLORACIÓN DE URANIO

4.1 Fuentes de exposición para el personal de exploración

Los trabajadores que realizan actividades de exploración de uranio pueden estar expuestos a las radiaciones mediante tres vías distintas:

- Radiación gamma directa emitida por la roca mineralizada.
- Inhalación del radón y sus descendientes que emanan de las muestras o testigos, detritos y agua de perforación.
- Inhalación e ingestión de polvo proveniente del mineral radiactivo.

Es recomendable que las actividades de exploración de uranio se realicen utilizando métodos que reduzcan estas vías de exposición (por ejemplo, que produzcan una menor cantidad de material particulado o menor liberación de gases).

4.2 Protección contra la radiación

4.2.1 Protección contra las radiaciones Gamma

La exposición a la radiación gamma, proveniente del mineral de uranio, es la principal fuente de exposición para el personal de exploración. La dosis que reciban dependerá de:

- La ley del mineral de uranio.
- La cantidad de mineral y detritos del mineral.
- La distancia entre los trabajadores y el material mineralizado.
- El tiempo de exposición cerca a la roca mineralizada (manipuleo de muestras de mineral, testigos y detritos).

Para minimizar la dosis recibida es necesario maximizar la distancia entre los trabajadores y las muestras o testigos mineralizados y limitar su tiempo de permanencia cerca de estos materiales. La cantidad de muestras de mineral depositadas en el almacén de testigos donde serán analizados deberá ser limitada. En caso de existir una mayor cantidad de muestras de mineral, éstas deberán ser almacenadas en un área separada y retiradas para su análisis cuando sea necesario.

4.2.2 Protección contra el radón y sus descendientes

El gas radón es producto de la desintegración natural de las series de decaimiento del uranio y emana de las muestras mineralizadas, detritos de perforación y el agua de perforación. Si el testigo de perforación es manipulado y almacenado en un área bien ventilada, el gas radón y sus descendientes no constituirán una fuente significativa de exposición ocupacional a la radiación. Para minimizar la dosis recibida por el trabajador se deberán mantener ventilados los almacenes que contengan una cantidad significativa de testigos o muestras, mientras el trabajador permanezca dentro. En caso de almacenarse materiales de alta concentración de uranio (mayor a 5%) en un área cerrada se recomienda realizar mediciones periódicas de las concentraciones de radón y sus descendientes.

4.2.3 Protección contra inhalación e ingestión de polvo de mineral de uranio

La inhalación e ingestión de polvo de mineral radiactivo no debería representar una fuente importante de exposición a radiación para los trabajadores, si se mantiene una buena higiene industrial. Se minimizará la dosis de radiación que los trabajadores reciben por inhalación e ingestión de polvo de mineral radiactivo, si se toman medidas de prevención simples como:

- Mantener limpio el ambiente de trabajo para prevenir la resuspensión de polvo producido por el desplazamiento de trabajadores.
- Evitar la acumulación de detritos de mineral y residuos del mineral. Considérese que la acumulación de mineral y detritos de mineral también aumentará el nivel de radiación gamma en el área.
- Usar sierras humedecidas para cortar el testigo. Puede requerirse el uso de un sistema de ventilación separado (campana de ventilación).
- Uso de máscaras de respiración cuando se corte las muestras de mineral o actividades de corte de terreno si fuera necesario.
- Lavarse las manos antes de comer o llevarse artículos a la boca.

Todo esto asumiendo que la perforación exploratoria en roca mineralizada se realice debajo de la napa freática, es decir, en zonas saturadas que permitan evitar la perforación en seco. La perforación en seco del mineral de uranio generará mucho polvo radiactivo y no es recomendable. En el caso que sea inevitable la perforación en seco deberá utilizarse un sistema de supresión de polvo. El personal de perforación requerirá asesoría experta en protección contra las radiaciones para asegurar que el nivel de exposición sea aceptable y esté dentro de los límites permisibles.

4.3 Determinación del programa para la protección radiológica del trabajador

Por naturaleza, el proceso de exploración de la mineralización de uranio, implica que no se conocerá la concentración de U en el mineral extraído a la superficie. Por esta razón, las actividades de exploración deberán desarrollar y mantener un programa de protección contra la radiación que ayude a identificar los peligros y defina las medidas requeridas para proteger a los trabajadores. Este programa deberá ser establecido antes del inicio del trabajo de exploración. Los elementos básicos de este programa deben incluir:

- Entrenamiento de trabajadores en protección básica contra las radiaciones antes y durante las actividades de exploración de uranio.
- Plan de almacenamiento e inspección del testigo mineralizado de tal manera que se minimice la exposición a la radiación al trabajador.
- Plan para la contención y manejo de detritos, lodo y agua de perforación en el emplazamiento.
- Entrega de dosímetros de radiación gamma a los trabajadores (dosímetro TLD o de otro tipo) e informe de las dosis de radiación a los trabajadores y las entidades reguladoras.
- Medios para evaluar la ley del mineral que es extraído a la superficie.
- Plan de transporte del material radiactivo fuera del emplazamiento considerando las normas de transporte.
- Plan para evaluar la exposición a radiación potencial de los trabajadores y el nivel de protección requerido contra la radiación.

La Figura 11 muestra la metodología general de acuerdo con las recomendaciones del OIEA para el nivel de protección requerido contra la radiación en base a la restricción de dosis para el público y el nivel potencial de exposición ocupacional a la radiación. Cada programa incluye diferentes prácticas de gestión y medidas de control, donde:

1. Un programa sin restricciones no se requiere de acciones para controlar dosis ni materiales.
2. Un programa de manejo de NORM incluye:
 - Establecer restricciones de acceso para los trabajadores y el público a determinadas áreas.
 - Establecer procedimientos para el manejo y/o envío de materiales.
 - Cambios en las prácticas de trabajo.
 - Monitoreo de las áreas de trabajo.
3. Un programa de manejo de dosis incluye:
 - Notificación a los trabajadores de las fuentes de radiación.
 - Consideración de los procedimientos de trabajo y vestimenta de protección para limitar la dosis de exposición a NORM.
 - Controles de ingeniería cuando sean apropiados.
 - Entrenamiento para controlar y reducir dosis de exposición ocupacional.
 - Introducción del programa de estimación de dosis de radiación ocupacional. La estimación de la dosis puede realizarse a partir del nivel de dosis en cada área de trabajo y el tiempo de permanencia en dicha área.

Presentación del informe sobre las dosis de exposición de los trabajadores a la Autoridad Nacional.

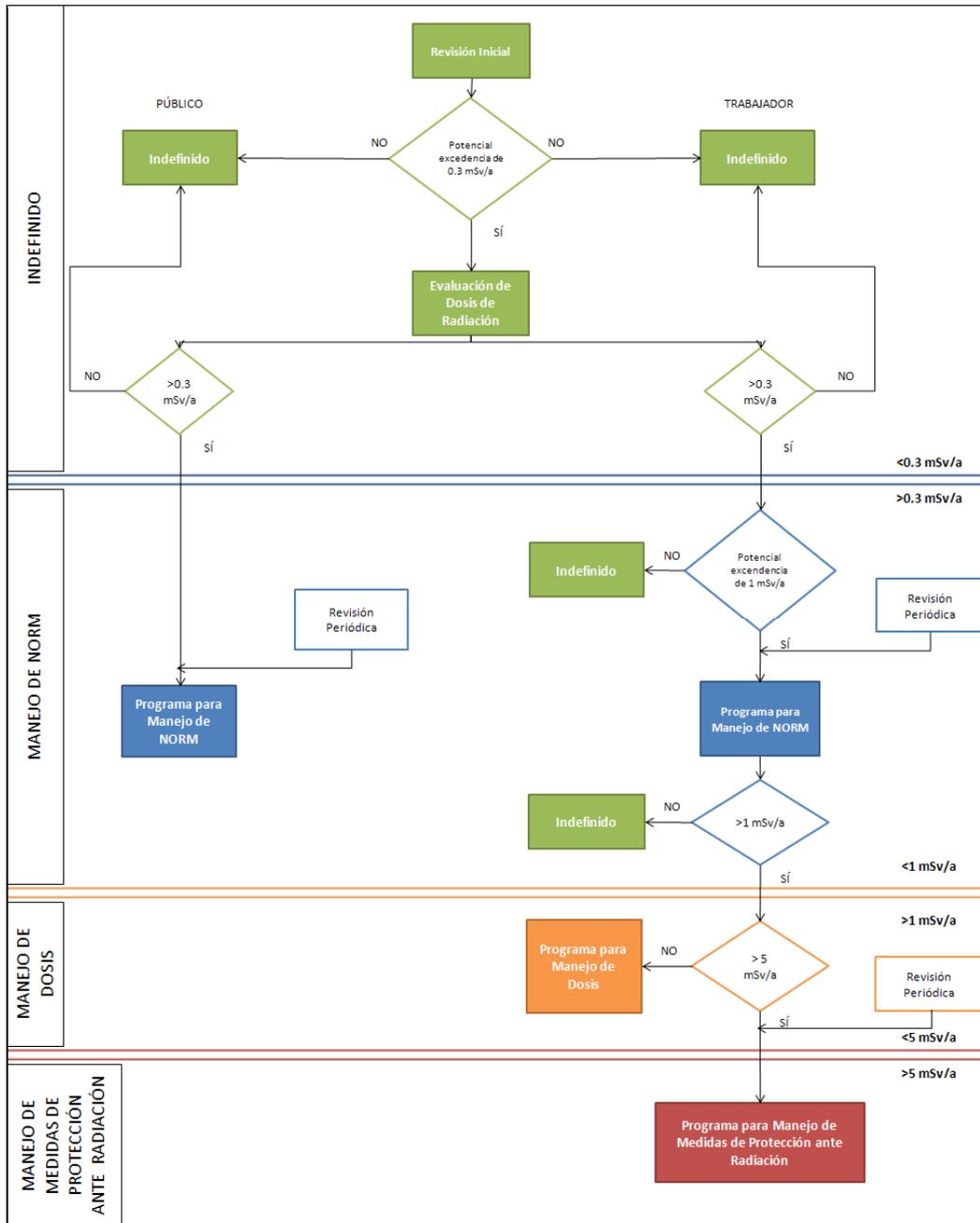
4. Un programa de manejo de protección además de los requerimientos de un programa de manejo de dosis incluye:
 - Un programa de protección contra radiación.
 - Dosimetría personal.
 - La entrega de equipos, vestimenta y procedimientos de protección en el trabajo.

En general, la Figura 11 recomienda niveles de protección cada vez más rigurosos debido al incremento de la exposición ocupacional a las radiaciones. De igual manera deberá ser más rigurosa la fiscalización de la Autoridad Nacional debido al mayor potencial de riesgos para los trabajadores y el ambiente. Obsérvese que además de los requerimientos para la exposición a las radiaciones es probable que todo proyecto de exploración de uranio esté sujeto a más controles regulatorios ambientales no relacionados con la exposición a las radiaciones.

Cuando exista un alto potencial de exposición ocupacional a la radiación y la Autoridad Nacional declare que las prácticas no están exentas de control, el programa de exploración podría requerir una autorización. Dependiendo del nivel de exposición potencial a las radiaciones, los trabajadores podrán ser clasificados como ocupacionalmente expuestos. El Reglamento de Seguridad Radiológica establece la supervisión médica como prerequisite para los trabajadores expuestos, así como el archivo de los registros sobre la exposición de los trabajadores (Capítulo III). También deberá restringirse el acceso al emplazamiento de exploración tanto por razones radiológicas como no radiológicas.

Como conclusión se puede advertir que la mejor medida de mitigación y protección contra las radiaciones, gas radón e inhalación de polvo de uranio es una adecuada ventilación del área de trabajo. Idealmente los trabajadores deberían estar lo más cerca posible de la fuente de aire fresco, mientras que el aire contaminado debería ser conducido directamente a un ducto de extracción. Esto debido a que la desintegración del gas radón a gas de corta duración toma alrededor de 3 minutos, lo que significa que se tiene menos de 3 minutos para limpiar el gas del área de trabajo.

Figura 11.- Metodología general para determinar el nivel de protección contra las radiaciones



5 GUÍA DE PROTECCIÓN AMBIENTAL DURANTE LA EXPLORACIÓN DE URANIO

5.1 Protección general de la salud humana y el ambiente

5.1.1 General

La exploración de uranio es similar a cualquier otro tipo de exploración de minerales, teniendo en cuenta que la actividad debe minimizar la alteración del ambiente. Las medidas que deben considerarse son:

- Los programas de perforación propuestos deberían ser documentados y autorizados por las entidades reguladoras.
- El desbroce de árboles debería ser limitado y la madera que pueda salvarse debería ser vendida.
- El terreno a ser disturbado deberá restringirse al área de trabajo. El suelo orgánico alterado deberá almacenarse en pilas y utilizarse como cobertura final durante la remediación del sitio.
- La distancia mínima entre un área de desbroce y los cuerpos de agua locales debería ser 100 metros.
- En el caso de pequeñas perforaciones (< 64 mm), el efluente de la perforación debería ser captado en sumideros, contenedores o depresiones naturales.
- En el caso de perforaciones grandes (> 64 mm), el efluente de la perforación debería ser dispuesto en tanques y transportado a una instalación autorizada de gestión de residuos o rebombado al pozo al término de la perforación.
- La disposición de lodo, agua de retorno y detritos de perforación debería realizarse de tal manera que evite su ingreso a los cuerpos de agua.
- Un sistema de circuito cerrado debería utilizarse para el caso de lodos de perforación y otros aditivos potencialmente nocivos.
- Concluido el programa, los pozos de perforación deberían ser obturados de acuerdo con las normas y guías establecidas.
- El emplazamiento debe ser rehabilitado.
- Los proyectos de exploración deben ubicarse alejados de las poblaciones y/o centros poblados.

5.1.2 Protección de la población contra las radiaciones

Se deberá controlar el acceso del público al emplazamiento donde se realizan las actividades de exploración de uranio para evitar las exposiciones innecesarias y garantizar su seguridad.

La principal preocupación radiológica en la exploración de uranio es la contención y disposición final de los residuos sólidos y líquidos radiactivos como los testigos, detritos, lodos y agua de perforación. Estos residuos requerirán una adecuada disposición al término de las actividades de exploración. La Autoridad Nacional especificará los tipos de registro que deberá mantenerse en las actividades de exploración.

Las operaciones de perforación pueden emanar radón que se dispersará rápidamente transportado por el aire y es probable que éste no represente peligro radiológico al ambiente o al público.

5.1.3 Consideraciones no radiológicas

La disposición de los residuos no radiactivos deberá realizarse de acuerdo a los requerimientos establecidos para el resto de operaciones de exploración (no relacionadas con uranio).

5.2 Gestión de material radiactivo durante la exploración

5.2.1 Manejo de materiales y almacenamiento

Las actividades de exploración de uranio producirán tanto residuos radiactivos como no radiactivos. Los residuos no radiactivos resultantes serán dispuestos de acuerdo con las normas establecidas en el país. Los materiales radiactivos, como testigos, detritos, lodo y agua de perforación contaminados, requerirán consideraciones adicionales.

Generalmente, el testigo de perforación es un material valioso y se almacena por largos períodos después del término de las actividades de exploración en el emplazamiento. El testigo de perforación que exhibe mineralización de uranio menor al 0.5% puede ser considerado como no radiológico y, por consiguiente, almacenado o dispuesto apropiadamente (por ejemplo, enterrándolo). Se considerarán mineralizados a los testigos de perforación que presenten una concentración mayor a 0.05%. El almacenamiento de testigos mineralizados se deberá realizar en un lugar seguro de tal manera que:

- La tasa de dosis de gamma a 1 m del área de almacenamiento de los testigos debe ser menor a $1 \mu\text{Sv/h}$.
- Las áreas de almacenamiento del testigo se ubicarán como mínimo a 100 metros del espejo de los cuerpos de agua. Dichas áreas deberán contar con los sistemas de impermeabilización adecuados.
- El operador es responsable de obtener las autorizaciones correspondientes para el almacenamiento de testigos mineralizados. El operador se responsabilizará por el testigo de la perforación en una determinada propiedad, desde el día que adquiera dicha propiedad.
- Se indicará la ubicación de los depósitos de almacenamiento en los informes remitidos a las entidades reguladoras.

Los detritos, lodos y agua de perforación deberán ser considerados desde el inicio como residuos potencialmente radiactivos hasta que sean evaluados y clasificados apropiadamente como residuos radiactivos o no radiactivos. Se tomará las siguientes precauciones:

- Para retirar los detritos de los fluidos de perforación, éstos deberán ser filtrados y los fluidos reciclados.
- Deberá evitarse la descarga descontrolada de lodo de perforación, agua de retorno y detritos fuera del emplazamiento a menos que ésta haya sido autorizada. La autorización podría requerir medidas para el control de sedimentos y de erosión, así como también es posible que se requieran otras medidas, dependiendo de la calidad del agua de acuerdo a las normas para efluentes y/o normas de protección para los cuerpos receptores.
- Los detritos y lodos de perforación con contenido de uranio inferior al 0.05% deberán ser dispuestos fuera del emplazamiento en una instalación autorizada de gestión de desechos o colocados en un sumidero a un mínimo de 100 metros de distancia de todo cuerpo de agua y cubiertos con material que sea resistente a la erosión.
- Los sólidos de lodo y detritos de perforación con una concentración de uranio mayor a 0.05% deben ser dispuestos en el pozo de perforación y éste deberá ser sellado rellenando la parte superior hasta 30 m. del lecho de roca o toda la profundidad del pozo, el que sea menor, de manera que se garantice el cumplimiento de las disposiciones establecidas para el abandono de pozos. El relleno tiene como objeto encapsular el material radiactivo para evitar la contaminación del entorno. Alternativamente se puede contemplar la disposición del material radiactivo fuera del emplazamiento, en una instalación adecuada que cuente con aprobación, pero es probable que tal instalación no esté disponible.

- El pozo de perforación con un nivel de mineralización de uranio mayor a 1% en una longitud de más de 1 metro, deberá ser sellado rellenando toda la zona de mineralización en no menos de 10 m sobre y debajo la zona de mineralización. El pozo se puede llenar con concreto utilizando agregados de poco tamaño; alternativamente parte del pozo podría llenarse con material de corte de la perforación, residuos o lodos para reducir la utilización de concreto, pero probablemente sea más fácil rellenar el pozo con concreto únicamente.
- Deberán conservarse los registros de la ubicación y descripción del emplazamiento y los testigos de exploración.
- El traslado fuera del sitio de los testigos de uranio, que tengan una concentración que exceda 1 Bq/g de U-238 y la actividad total exceda 1000 Bq deberá transportarse como material radiactivo de acuerdo con las disposiciones establecidas en el Reglamento de Seguridad Radiológica.
- Las perforadoras y demás equipos utilizados durante la exploración deberán ser limpiados antes de su retiro del emplazamiento.

5.2.2 Plan de rehabilitación

Se reconocerá la rehabilitación como parte integral de la exploración y se incluirá como parte del estudio ambiental correspondiente. Un plan adecuado ayudará al titular de la exploración en la rehabilitación del sitio a un estado aceptable natural y productivo. El plan de rehabilitación incluirá:

- El establecimiento progresivo de vegetación natural que concuerde con las condiciones del emplazamiento previas a la actividad de exploración, priorizando las especies vegetales que tengan el potencial de absorber sustancias radiactivas del suelo, siempre y cuando, éstas puedan desarrollarse en las condiciones climáticas del área de trabajo.
- Retiro de infraestructura, instalaciones y residuos del emplazamiento del proyecto al concluir el programa.
- Reperfilamiento del emplazamiento tanto como sea posible a su estado original.
- Estudio radiométrico final para verificar que los niveles de radiación gamma (medidos a 1 metro de la superficie) sean menores a 1.0 $\mu\text{Sv/h}$. Una tasa de dosis gamma de 1.0 $\mu\text{Sv/h}$ es equivalente aproximadamente a una concentración de mineral de uranio en la superficie de 0.05%. Pueden haber áreas donde los niveles naturales de radiación gamma exceden de 1.0 $\mu\text{Sv/h}$ y requerirán consideración especial de acuerdo a cada caso.
- Inspección final por las autoridades fiscalizadoras para confirmar la adecuada rehabilitación del emplazamiento.

En general, deberá manejarse los residuos radiactivos de tal manera que los impactos previstos en la salud de las futuras generaciones no sean mayores a los impactos aceptables en la población actual.

Los requerimientos generales para la manipulación de residuos radiactivos están establecidos en el Reglamento de Seguridad Radiológica.

5.2.3 Documentación

La implementación de la exploración superficial de uranio requerirá muchos permisos ambientales incluyendo, pero no limitándose, a aquellos permisos relacionados con el desbroce de árboles, la construcción de caminos temporales, la toma de agua o su disposición y la perforación en sí en la superficie.

Debido a que los niveles de exposición a la radiación de los trabajadores involucrados en las actividades de exploración de uranio frecuentemente están debajo del límite de dosis para los miembros del público (1 mSv/año), la documentación requerida por la Autoridad Nacional

podría ser limitada. Dependiendo del nivel de exposición potencial a las radiaciones, el personal podrá ser clasificado como "trabajador expuesto". En estos casos, se establecerá un sistema de archivo de registros y manejo de documentación con el propósito de conservar detalles apropiados sobre la salud y seguridad del trabajador, según lo requiere la Autoridad Nacional en los artículos 117° a 121° del Reglamento de Seguridad Radiológica.

6. PARTICIPACIÓN CIUDADANA PARA LA EXPLORACIÓN DE URANIO

La exploración de uranio puede realizarse en propiedad pública o privada, utilizadas también como lugares recreacionales u otros propósitos por el público. Asimismo, la exploración puede realizarse en una propiedad privada que podría ser adyacente a áreas ocupadas por residentes en el área.

Desde que las actividades de exploración de minerales, incluido el uranio, genera controversia, es obligatorio que la población local, que podría ser impactada por dichas actividades, sea informada, consultada y educada respecto a las medidas de seguridad ambiental y ocupacional que estén siendo implementadas.

La participación ciudadana, antes del inicio de las actividades de exploración, ayuda a educar y concienciar al público en temas de seguridad relacionados con la radiación y los riesgos potenciales y también los beneficios de la producción de uranio. La participación ciudadana se debe efectuar en el marco de lo dispuesto por las normas como el D.S. N° 028-2008-EM y R.M. N° 304-2008-MEM/DM.

Durante el proceso de participación ciudadana, a través de los aportes de los participantes, se pueden conocer las preocupaciones y la información puede mejorarse y divulgarse de manera más eficiente. La participación ciudadana involucra la notificación (para publicitar el tema que desea consultarse) y la consulta (intercambio de información y opinión de doble vía), así como la participación.

Si se busca la participación ciudadana será de utilidad elaborar y distribuir material de referencia, de fácil comprensión antes y durante las reuniones. El material escrito o audiovisual incluirá información general sobre las radiaciones, sus efectos y las medidas de protección contra la radiación y cualquier otra información importante que proporcione al público un mejor conocimiento de las actividades de exploración.

REFERENCIAS

1. CIPR, 1990. Publicación de la CIPR No. 60 – Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.
2. CIPR, 1993. Publicación de la CIPR No. 65 – Protección contra el radón en el hogar y en el trabajo.
3. CIPR, 1997. Publicación No. 77 – Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste.
4. CIPR, 2007. Publicación de la CIPR No. 103 – Recomendaciones de la Comisión Internacional de Protección Radiológica.
5. Gobierno de Australia. Protección contra las Radiaciones y la Gestión de Desechos Radiactivos en la Minería y Procesamiento de Minerales.
6. Gobierno de Australia Occidental – Departamento de Minas y Petróleo. Seguridad de Recursos – Manejo de Material Radiactivo de Origen Natural (NORM) en la Explotación y Procesamiento de Minerales – Guía – Elaboración del Plan de Manejo de Radiación – Exploración.
7. Golder, 2008. All About Radiation – A Primer on Radiation in Uranium Mines.
8. Health Canada, 2000. Guía Canadiense para la Gestión de Materiales Radiactivos de Origen Natural (NORM).
9. IPEN, 1997. Reglamento de Seguridad Radiológica (Perú).
10. IPEN, 2003. Ley No 28028 – Ley de Regulación del Uso de Fuentes de Radiación Ionizante (Perú).
11. IPEN, 2008. Reglamento de la Ley No 28028 (Perú).
12. IPEN, 2009. Plan de Emergencia Radiológica Nacional.
13. IPEN, 2009. Requisitos para la Seguridad Radiológica en Minería e Instalaciones de Uranio y Torio o Material sin Procesar. IR.002.2009.
14. Ministerio de Energía, Minas y Recursos Petroleros de British Columbia (Canadá), 2008 – Código de Salud, Seguridad y Rehabilitación.
15. OIEA, 1996. Safety Series No. 115 –International Basic Safety Standards for Protection Against Ionizing Radiation and for the Safety of Radiation Sources.
16. OIEA, 2002. Serie de Seguridad de Residuos de la OIEA No. WS-G-1.2 – Gestión de Residuos Radiactivos de la minería y tratamiento de minerales.
17. OIEA, 2004. Serie de Estándares Seguridad de la OIEA – Protección de Radiación Ocupacional en la Minería y el Procesamiento de Materias Primas.
18. OIEA, 2004. Serie de Estándares Seguridad de la OIEA No. RS-G-1.7 – Aplicación de los Conceptos de Exclusión, Exención y Dispensa.
19. OIEA, 2006. Serie de Informes de Seguridad de la OIEA No. 49 – Evaluar la necesidad de medidas de protección contra las radiaciones en los trabajos con minerales y materias primas.
20. OIEA, 2009. Requerimientos de Seguridad No. TS-R-1 – Reglamento para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos.
21. OIEA, 2009. Serie de Estándares Seguridad de la OIEA No. RS-G-1.6 – Protección de Radiación Ocupacional en la Minería y el Procesamiento de Materias Primas.
22. Sindicato de Saskatchewan (Canadá). Salud y Seguridad Ocupacional – Guía de Protección de Radiación de Exploración de Uranio. Extraído de <http://www.labour.gov.sk.ca/adx/asp/adxGetMedia.aspx?DocID=466,94,88,Document s&MediaID=174&Filename=radiation.pdf>.
23. SMEGAC, 2007. Comité Asesor del Gobierno y Exploración de Minerales de Saskatchewan (Canadá) – Guía para Exploración de Minerales de Saskatchewan. Noviembre, 2007.

