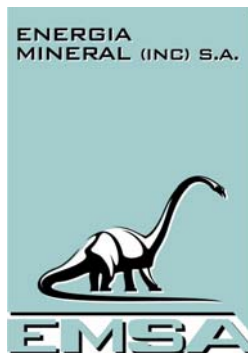


CALYPSO URANIUM Corp.



ENERGIA MINERAL (Inc.) S.A.



**GUIA DE SEGURIDAD
Y PROTECCION RADIOLOGICA
PARA EXPLORACION DE URANIO**

2008



Guía de Seguridad y Protección Radiológica para Exploración de Uranio

BASES Y FUNDAMENTOS

Calypso Uranium Corp.
Suite 220 - 1075 West Georgia Street
Vancouver, BC
Canada V6E 3C9

Energía Mineral (Inc.) S.A.
Reconquista 31 Mendoza
C.P. M5502GSA

www.calypsouranium.com

SEGURIDAD y PROTECCION RADIOLÓGICA 2008

Rev. 02.08



POLITICA DE SEGURIDAD Y PROTECCION RADIOLOGICA DE EMSA

Energía Mineral Inc. S. A. (EMSA), filial en la República Argentina de Calypso Uranium Corp., tiene por objetivo principal la prospección, exploración y explotación de minerales de uranio. Esta actividad es desarrollada dentro del marco de minería moderna, responsable y sustentable por lo tanto conlleva a la implementación de acciones inherentes al cuidado del medio ambiente y la salud entre otras.

Es política de EMSA cumplir con la legislación vigente, referida a Higiene y Seguridad Laboral (Ley 19.587); y además implementar un elevado estándar de cuidado tanto de sus empleados como de las personas que se relacionan con su actividad.

Aunque la mayoría de los países no tienen legislación que regule la exploración de uranio, algunas jurisdicciones han implementado normas para la actividad, por lo que EMSA ha tomado la iniciativa de desarrollar esta guía basada en pautas internacionalmente aceptadas y reguladas.

En la actualidad no existe legislación en la República Argentina ni en los organismos controladores nacionales respecto a algún tipo de reglamentación referida a Seguridad y Protección Radiológica en las actividades de prospección y exploración en minería del uranio debido a los bajos niveles de riesgo que presentan las radiaciones producidas por el uranio existente en la naturaleza.

No obstante la inexistencia de riesgos, EMSA considera oportuno reglamentar internamente su actividad con los mismos controles que se realizan en etapas más avanzadas del ciclo de combustibles nucleares.

Es de interés para EMSA:

- Cumplir con las reglamentaciones vigentes en cuanto a Higiene y Seguridad Laboral e implementar su propia política de Seguridad y Protección Radiológica, más allá de lo legalmente exigible.
- Implementar esta guía de Seguridad y Protección Radiológica; priorizando la salud y la seguridad de sus empleados, contratistas y comunidades relacionadas.
- Asegurarse de que sus empleados, proveedores, contratistas y la comunidad sean informados acerca de esta política y controlar el cumplimiento de las normas establecidas por la empresa.
- Dar a conocer la política de Seguridad y Protección Radiológica de la empresa a las entidades gubernamentales, comunidad, y empresas relacionadas; hacerla cumplir y desarrollarla continuamente con el objetivo de perfeccionarla.

Seguridad y Protección Radiológica
Calypso Uranium Corp.
Energía Mineral (Inc.) S.A.

RESUMEN

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas en diferentes medios.

En la vida diaria, el ser humano está expuesto a radiaciones naturales del medio ambiente conocida como radiación de fondo, cuyas principales fuentes son la radiación solar, cósmica del espacio exterior y de los elementos radiactivos de la corteza terrestre principalmente. La radiación también está presente en estudios médicos (rayos X) y por inhalación de gas radón existente en las viviendas.

En la naturaleza existen diferentes materiales y elementos naturalmente radiactivos y en diferentes proporciones; siendo por su aplicación los de interés industrial el Uranio, Torio, y Potasio.

Las propiedades de los materiales radiactivos naturales en la República Argentina son utilizadas en forma pacífica para cubrir una amplia gama de diferentes objetivos, que van desde la producción de energía, medicina, usos industriales, el agro e irradiación de alimentos entre otros.

La búsqueda de minerales radiactivos naturales se realiza en las etapas de prospección y exploración. Para la utilización del mineral de uranio natural tal como se lo encuentra en la naturaleza para los fines mencionados se debe realizar un procesamiento y concentración del material. Esta actividad no está relacionada con el enriquecimiento de uranio que es otro proceso diferente.

El desconocimiento del tema en general y la baja comunicación entre los actores que desarrollan esta actividad (empresas privadas, el sector científico o gobierno) y los grupos sociales, da por resultado cierto recelo por parte de la comunidad donde se realizan actividades en minería del uranio. Es por ello que es fundamental una interacción y comunicación con bases científicas que permitan una adecuada información de los individuos y comunidades.

Los niveles de radiación que se puede medir en zonas de exploración de uranio ya existen en la naturaleza y no son resultado de intervención humana alguna.

En la República Argentina la minería del uranio está desarrollada en parte por el estado a través de la Comisión Nacional de Energía Atómica (CNEA), y en gran medida por empresas privadas.

La búsqueda de minerales radiactivos en su estado natural en las etapas de prospección y exploración no posee reglamentación alguna en el país, y muy pocos países poseen alguna norma al respecto. Esta situación no es caprichosa, ya que la radiación natural de estos elementos tal como yacen en la naturaleza no presentan ningún riesgo para las personas; presentando mayor riesgo potencial para el ser humano la sobre exposición a la radiación solar o médica.



El organismo del estado que reglamenta todos los trabajos relacionados con la radiactividad en cuanto a licenciamiento y control, a partir de la etapa de **explotación** en la producción de combustibles nucleares; medicina nuclear, producción de energía, etc., en la República Argentina, es la Autoridad Regulatoria Nuclear (ARN), (Ley 24.804).

La Autoridad Regulatoria Nuclear califica entonces a la actividad minera uranífera como exenta de controles debido a que los niveles de radiación natural que se encuentran en los lugares de trabajo y a los cuales no se les haya incrementado tecnológicamente la actividad por unidad de masa; no requieren legalmente en forma explícita ni implícita control de ninguna especie.

No obstante EMSA ha implementado su propio Sistema de Seguridad y Protección Radiológica dado que los trabajos de prospección y exploración que realiza como parte normal de su actividad minera implica que sus empleados, contratistas y proveedores pueden desarrollar tareas en ambientes con radiación natural.

Por lo tanto EMSA, además de cumplir con las reglamentaciones de Higiene y Seguridad Laboral legalmente exigibles, implementa como sistema interno de Seguridad y Protección Radiológica el control, vigilancia y seguimiento de sus empleados; del personal contratista y de servicios así como de los trabajos durante las tareas desarrolladas con elementos radiactivos naturales de baja actividad como parte normal de su gestión.

Esta guía está basada en publicaciones internacionales de protección radiológica, recomendaciones de instituciones y agencias internacionales y de organismos nacionales; como tales publicaciones y reglamentaciones están sujetas a revisiones periódicas, esta guía también será actualizada para reflejar las modificaciones aceptadas por la comunidad nacional e internacional.

Esta guía es interna, no forma parte del Ciclo de Combustible Nuclear de la República Argentina, tampoco de la legislación vigente de Higiene y Seguridad Laboral; ni está contemplada dentro de la reglamentación vigente de la Autoridad Regulatoria Nuclear que es quien reglamenta todo el licenciamiento y control de las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear y la utilización y manejo de radionucleidos naturales y artificiales.

La aplicación de las normas de Seguridad y Protección Radiológica implementadas en EMSA no anulan ni modifican las medidas de Seguridad e Higiene Laboral que EMSA y las empresas contratista o proveedora poseen; es complementaria.



OBJETIVOS

El objetivo de esta guía es establecer los principios y procedimientos para el trabajo, clasificación y manejo de materiales radiactivos de ocurrencia natural en las tareas de prospección y exploración de uranio.

En este sentido se implementan también tres guías prácticas: para empleados que incluyen transporte y almacenamiento de minerales radiactivos naturales y para empleados de empresas contratistas y de servicios, ambas de cumplimiento obligatorio; y otra guía con sugerencias para la comunidad que vive o desarrolla sus tareas en zonas de trabajo de EMSA.

El principio que lleva a confeccionar la presente guía es, que a pesar de que no se encuentran bajo riesgo alguno las personas que viven o desarrollan tareas en ambientes con radiación provenientes de minerales radiactivos naturales de baja actividad, tengan conocimiento de ésta y por lo tanto incorporen en forma natural procedimientos de protección y seguridad radiológica en beneficio de su propia salud y la de sus semejantes.

El conjunto de normas de protección para la radiación tiene por objeto minimizar la dosis en las personas que trabajan con minerales radiactivos de ocurrencia natural, de manera que se mantengan por debajo de valores preestablecidos y tan bajo como sea posible. Por lo que la guía se basa fundamentalmente en el control de las dosis de radiación y que si puede ser reducido por acciones razonables, esas acciones deben ser ejecutadas.

EMSA informará a la comunidad que lo requiera los aspectos relacionados con la Seguridad y Protección Radiológica implementada por ésta, con el objetivo de incrementar el conocimiento científico básico referidos al desarrollo normal de las actividades mineras de prospección y exploración realizadas por la empresa.



PROTECCION Y SEGURIDAD RADIOLOGICA

ENERGIA MINERAL (Inc.) S. A.

INDICE

	Pág.
Política de Seguridad y Protección Radiológica de EMSA	I
Resumen	II
Objetivos	IV
Indice	V

SECCION I

Abreviaturas Utilizadas	2
Unidades	3
Conceptos Generales	4
Características de los Elementos Radiactivos	4
Tipos de Radiación y Radiación de Fondo	5
Tipos de Radiaciones Ionizantes en Minerales Radiactivos	6
Instrumentación	7
Dosimetría	7
Efectos Biológicos	11
Radón	12
Vías de Incorporación de la Radiación	14
Exposición a las Radiaciones Ionizantes	14
- Justificación	14
- Optimización	15
- Limitación de Dosis	15
Exposición Ocupacional	16
Protección en la Exposición Ocupacional	18
Exposición Ocupacional en las Mujeres	19
Exposición Ocupacional en Aprendices y Estudiantes	20
Exposición del Público	20
Aceptabilidad de los Riesgos	21
Cultura de la Seguridad	22

SECCION II

Funciones de Seguridad y Protección Radiológica en EMSA	24
Control y Registro en la Exposición Ocupacional (Interno)	24
Transporte de Muestras (Interno)	25
Almacenamiento de Muestras (Interno)	26
- ANEXO I: Planillas de Control	28
- ANEXO II: Cadenas de Desintegración de Elementos Radiactivos	32
Bibliografía	36
Nota Final	38



SECCION I

ABREVIATURAS UTILIZADAS

- ALARA: Acrónimo “As Low As Reasonably Achievable” ó “tan bajo como sea razonablemente posible”. Teniendo en cuenta aspectos sociales y económicos. ALARA es el principio guía de la protección radiológica; y sugiere que las dosis sean tan bajas como sea posible aún cuando se hayan alcanzado niveles inferiores a los permitidos.
- ALI: “Annual Limit Intake”, o límite anual de incorporación.
- ARN: Autoridad Regulatoria Nuclear.
- Bq: Becquerel.
- CPM: cuentas por minuto.
- CPS: cuentas por segundo.
- CNEA: Comisión Nacional de Energía Atómica
- EMSA: Energía Mineral (Inc.) S.A.
- ev: Electrón Volt, Medida de energía a nivel atómico.
- IAEA: International Atomic Energy Agency; (Agencia Internacional de Energía Atómica).
- IB: Instituto Balseiro (CNEA)
- ICRP: International Commission on Radiological Protection; (Comisión Internacional en Protección Radiológica).
- Mev: Mega electrón volt.
- NORM: Naturally Occurring Radioactive Material; (Materiales Radiactivos de Ocurrencia Natural).
- RI: Radiación Ionizante.
- SPR: Seguridad y Protección Radiológica.
- Sv: Siervert
- TENORM: Technologically Enhanced Naturally Occurring Radioactive Material; (Materiales Radiactivos de Ocurrencia Natural Tecnológicamente Tratados).
- UNSCEAR: United Nations Scientific Committee on Effects of Atomic Radiation.
- wR: Factor de ponderación en dosis equivalente dependiente del tipo de radiación
- wT: Factor de ponderación dependiente del tejido irradiado.

UNIDADES

- Bq: Becquerel, Unidad del Sistema Internacional para medir actividad o desintegración radiactiva; es el número de desintegraciones por segundo.
- Ci: Curie, unidad de radiactividad, equivalente a 3.7×10^{10} desintegraciones por segundo. $1 \text{ Ci} = 1 \times 10^{10} \text{ Bq}$.
- Cps: cuentas por segundo; cantidad de desintegraciones por segundo
- Cpm: cuentas por minuto; cantidad de desintegraciones por minuto.
- Gray: unidad de dosis absorbida de radiación ionizante del Sistema Internacional; es la cantidad de energía entregada por la radiación ionizante por unidad de masa de materia radiactiva; equivale a un joule por Kg.
- eU: equivalente de uranio; unidad utilizada para indicar que la medición se realiza sobre radionucleidos provenientes de la desintegración radiactiva (hijos), no en los elementos padres.
- eU3O8: equivalente de óxido de uranio, unidad utilizada para indicar que la medición se realiza sobre radionucleidos provenientes de la desintegración radiactiva (hijos), no en los elementos padres.
- ev: es la energía que experimenta un electrón cuando se encuentra en un campo eléctrico, cuya diferencia de potencial es de 1 volt. 1 eV es igual a $1,6 \times 10^{-19}$ Joule.
- Mev: Mega electrón volt. Equivale a 10^6 ev.
- Sv: Sievert; unidad de dosis equivalente de radiación en el Sistema internacional, equivale a un joule por Kg. Es la cantidad de RI requerida para producir el mismo efecto biológico que un rad de rayos X de alta penetración, o un gray en rayos X. Es la unidad utilizada cuando se desea medir el peligro biológico de la radiación; milisievert (mSv) equivale a 10^{-3} Sv, microsievert (uSv) equivale a 10^{-6} Sv, nanosievert (nSv) equivale a 10^{-9} Sv.
- Sv/h: medida de tasa de dosis efectiva por unidad de tiempo.
- Rad: (Radiation Absorbed Dosis) unidad antigua para medir la absorción de energía de radiación, reemplazado por Gray (Gy).
- Rem: (Roentgen equivalent man), unidad antigua de dosis equivalente reemplazada por Sievert en 1977 en el SI.

CONCEPTOS GENERALES

La radiación en sus diferentes formas está presente en la vida diaria de muy diferente manera, en forma de radiación cósmica, estudios médicos, por inhalación de gas radón existente en las viviendas, etc.

En la naturaleza existen diferentes materiales y elementos radiactivos naturales y en diferentes proporciones; siendo por su aplicación los de interés industrial el Uranio 238 (^{238}U), Torio 234 (^{234}Th), y Potasio 40 (^{40}K).

Los elementos radiactivos son inestables; es decir sus átomos se van transformando en átomos de otros elementos, que son también radiactivos hasta llegar a su forma estable; generalmente Plomo (^{207}Pb , ^{206}Pb) y deja de ser radiactivo.

Este proceso se denomina proceso de decaimiento, en él los átomos se desintegran tendiendo finalmente a producir un átomo estable, liberando energía en cada desintegración, que es denominada radiación.

La radiactividad describe cuanta radiación está siendo producida por una fuente radiactiva, definiéndose como tal a todo elemento natural o artificial cuyos átomos son inestables y tienden a su estabilidad por medio de la emisión de energía.

Los valores de actividad son muy variados dependiendo del tipo de radioisótopo, fuente y cantidad del material. Los niveles de radiación que se puede medir en zonas de exploración de uranio ya existen en la naturaleza y no son resultado de la intervención humana.

Para llegar a la utilización de estos materiales con fines definidos se debe realizar un procesamiento (no se debe confundir con el enriquecimiento que es un proceso diferente) y concentración del material tal como se lo encuentra en la naturaleza. Todas estas actividades son controladas mediante la reglamentación pertinente de la ARN a partir de la etapa de explotación.

CARACTERISTICAS DE LOS ELEMENTOS RADIATIVOS

Un elemento químico es caracterizado por el número de protones en el núcleo de sus átomos, además posee determinado número de neutrones y electrones.

En un elemento químico el número de protones es constante pero el número de neutrones puede diferir dando así como resultado un isótopo de ese elemento. Ejemplo de ello es el Uranio 238 y 235 que es el mismo elemento químico y solo se diferencia por tres neutrones.

El Uranio natural está formado por tres tipos de isótopos; el Uranio 238 (^{238}U), Uranio 235 (^{235}U), y Uranio 234 (^{234}U). De cada gramo de uranio natural el 99,28% de la masa es ^{238}U , el 0,71% es ^{235}U ; y el 0,005% es ^{234}U .

La relación Uranio238/Uranio235 es constante en toda la tierra, los isótopos de los elementos radiactivos se denominan radioisótopos.

La mayoría de los elementos químicos y sus isótopos son estables, esto es la relación entre sus protones y neutrones se mantiene sin cambios; en los elementos denominados radiactivos este balance es inestable, por lo que emiten una o mas partículas para tratar de alcanzar el equilibrio energético, este proceso se denomina desintegración radiactiva

Los elementos radiactivos naturales y artificiales se van desintegrando de acuerdo a un periodo de tiempo determinado llamado vida media o periodo de semidesintegración, que es el tiempo que debe transcurrir para que la mitad de los átomos de una muestra de material radiactivo se desintegren en elementos mas ligeros o en otros términos que su actividad decaiga a la mitad; este tiempo puede ser de fracciones de segundos a varios miles de millones de años.

Esta desintegración radiactiva se lleva a cabo emitiendo partículas y energía de diferentes tipos, (alfa beta y gamma entre otras), con diferentes niveles energía y poder de penetración denominada radiación ionizante (RI).

TIPOS DE RADIACION Y RADIACION DE FONDO

La radiación es la emisión, propagación y transferencia de energía en forma de ondas electromagnéticas o partículas en cualquier medio, y se las puede dividir según la energía que posean, en radiaciones ionizantes y no ionizantes.

Las radiaciones ionizantes son partículas u ondas electromagnéticas que tienen la energía suficiente para producir ionizaciones de los átomos de la materia u elemento irradiado o cambiar la estructura físico química de los átomos de la misma, como los rayos X y la radiación gamma. Son utilizadas principalmente en medicina, como radiodiagnóstico, centellografía, radioterapia, tomografía computada entre otras.

Las radiaciones no ionizantes son ondas electromagnéticas, que no tienen la suficiente energía para romper los enlaces atómicos de la materia irradiada como la radiación ultravioleta, la luz visible, la radiación infrarroja, la radiofrecuencia, los campos de microondas, entre otras.

Por otro lado normalmente estamos expuestos a radiaciones naturales del medio ambiente conocida como radiación de fondo, cuyas principales fuentes son la radiación cósmica del espacio exterior, la radiación solar; como así también de los elementos radiactivos naturales de la corteza terrestre.

Se puede definir a un elemento radiactivo a aquel que es inestable y emite RI mediante la desintegración radiactiva eliminando la energía en exceso en forma de partículas ionizantes o de rayos de energía.

Los radioisótopos o radionucleidos pueden ser identificados por las características de la radiación que emiten; esta característica incluye la medida de decaimiento, la vida media del radionucleido y el tipo y energía de la radiación emitida.

A medida que un radionucleido se desintegra se transforma en un radioisótopo de otro elemento que puede ser o no radiactivo; si es radiactivo tiene su propia vida media y al final decaerá en otro radioisótopo o elemento estable siguiendo la misma transformación. El resultado final de una desintegración es un elemento estable.

TIPOS DE RADIACIONES IONIZANTES EN MINERALES RADIATIVOS

Las radiaciones ionizantes poseen un interés particular ya que los minerales radiactivos naturales en su estado original tal como se los encuentra en la naturaleza emiten naturalmente radiación alfa, beta y gamma.

Radiación alfa (α): son radiaciones a partir de partículas pesadas que no tienen un gran poder de penetración, aún en el aire, pueden ser detenidas por una hoja de papel; una partícula alfa de 3 MeV recorre 2,8 cm en el aire y produce aproximadamente 4000 pares iónicos/mm.

Se encuentran entre los radioisótopos mas pesados, esto indica que puede causar grandes daños, pero justamente por ser tan pesadas, es que son detenidas por pequeños espesores, es suficiente las células muertas que se encuentran en la epidermis para frenarlas.

Los radioisótopos emisores de partículas alfa son el Radio 226 (^{226}Ra), Radón 222 (^{222}Rn) y Torio 228 (^{228}Th); poseen bajo poder de penetración y por lo tanto representan bajo riesgo como fuente de radiación externa pero pueden causar un daño considerable si se depositan partículas alfa en forma interna por lo tanto se debe evitar ingerir polvo contaminado por partículas alfa o gas radón.

Radiación beta (β): son radiaciones de partículas cargadas mas livianas que las alfa, con mayor velocidad y poder de penetración, y pueden ser detenidas por algunos cm. de plástico o madera; en aire una partícula beta de 3 MeV. recorre 10 m y produce aproximadamente 4 pares iónicos/mm.

Los radioisótopos emisores de rayos beta son el Plomo 210 (^{210}Pb), y representa un riesgo medio como fuente de radiación tanto interno como externo.

Radiación gamma (γ): consiste en radiación de rayos de alta energía y son muy penetrantes, son del tipo de radiación electromagnética del mismo tipo que la luz pero con menor longitud de onda y pueden ser detenidos por algunos cm. de plomo, varios cm. de concreto a algunos m. de agua.

Los radioisótopos emisores de rayos gamma son el Plomo 212 (^{212}Pb), Plomo 214 (^{214}Pb) y Bismuto 212 (^{212}Bi); poseen alto poder de penetración, y como fuente de radiación el riesgo es alto tanto interno como externo.

INSTRUMENTACIÓN

Se puede medir el proceso de decaimiento radiactivo mediante el conteo de la cantidad de “partículas” radiactivas emitidas por una fuente radiactiva, a esta medida se la denomina radiactividad de la fuente.

La unidad usada para medir la radiactividad (comúnmente denominada como actividad) es el Becquerel (Bq), que es equivalente al decaimiento radiactivo de una desintegración por segundo.

En los trabajos de campo para la medición de la radiación producida por fuentes de materiales radiactivos de ocurrencia natural, se utilizan instrumentos que miden la cantidad de desintegraciones por minuto o por segundo (cpm, cps), en vez de utilizar el Becquerel.

La razón de esto tiene que ver con la eficiencia del detector para medir la radiación, ya que ningún detector tiene una eficiencia del 100%, por razones electrónicas solo una fracción de la radiación es detectada por el instrumento, si tomáramos esta medida como una medición de la actividad, tendríamos un error por defecto.

En esta guía, como está basada en el concepto de dosis; se hará referencia a la misma como la cantidad de radiación que puede recibir un individuo en los diferentes ambientes, este fenómeno se mide con instrumentos especiales denominados dosímetros.

Existen diferentes tipos y para variados usos, para medir dosis en ambientes o en forma personal, con diferentes tecnologías; de lectura directa o diferida, las unidades de dosis se expresan en Sievert (Sv), y las diferentes mediciones se pueden expresar como submúltiplos de Sv por unidad de tiempo (hora o año).

DOSIMETRIA

A fin de acotar los términos utilizados para esta guía, se hará referencia a fuente radiactiva como todo elemento, material o muestra que contenga radionucleidos naturales.

La dosis de radiación constituye la magnitud mas importante a tener en cuenta para la protección radiológica, ya que constituye una medida de la radiación absorbida y por lo tanto es útil para determinar los efectos biológicos y las medidas a tomar para evitar sus consecuencias.

La misma varía en función del tipo e intensidad de la radiación ionizante y los efectos biológicos estarán en función de las características de la materia irradiada.

El empleo de fuentes radiactivas provoca inevitablemente la absorción de determinadas dosis en las personas que se encuentren cerca debido a la imposibilidad de blindar completamente la radiación electromagnética, la neutrónica y la de evitar totalmente la incorporación de sustancias radiactivas al organismo.

La imposibilidad de aspirar al detrimento nulo es sustituida por la definición de un detrimento aceptable. La decisión sobre lo que puede considerarse detrimento aceptable no se sustenta exclusivamente en información científica, sino que deben intervenir consideraciones sociales y económicas; esto significa analizar cuál es la posición relativa de los riesgos asociados con las radiaciones ionizantes en relación con otros riesgos a que la sociedad está expuesta y cuál es la magnitud de los recursos que se está dispuesto a invertir para disminuir los detrimentos de las radiaciones.

La radiactividad provee un medio para determinar cuanta radiación está siendo producida por una fuente radiactiva; la dosis de radiación da una medida de que tan peligroso es el campo de radiación para una persona.

La radiación implica la existencia de energía que ha sido identificada como una fuente potencial de daño para el individuo. Esto ocurre en todos los ambientes donde se recibe radiación; la sobre exposición a radiación cósmica, solar, o médica (rayos X) es mas perjudicial que la radiación natural.

Una radiografía de tórax da lugar a una dosis efectiva en cada paciente del orden de 0.2 mSv; un examen estándar de Tomografía Computarizada abdominal imparte una dosis efectiva de 8 mSv y puede estar asociada con un riesgo de 1 en 2000 de inducción de cáncer; la radiación natural se encuentra en el orden de los microSv (uSv) y nanoSv (nSv).

La dosis toma en cuenta tanto la energía de la radiación como sus propiedades físicas cuando es capaz de producir daños en el cuerpo humano. La unidad utilizada para describir las consecuencias biológicas de la dosis de radiación es el Sievert (Sv), a mayor número se Sieverts mas severa es la consecuencia biológica.

Un Sievert en una cantidad muy grande, los niveles encontrados en los materiales de ocurrencia natural son usualmente en el orden de los 10 a 100 microsievarts (uSv), aproximadamente 10.000 veces menor.

Internacionalmente se han establecido límites específicos de la cantidad de dosis a recibir como dosis ocupacionales máximas en los trabajadores y en los miembros del público.

Los detectores de medición usados para los trabajos con materiales de ocurrencia natural miden la dosis como tasa de dosis; que es la cantidad de dosis que una persona puede recibir en base a una unidad de tiempo, generalmente una hora;

por lo que la mayoría de los instrumentos pueden medir en microsievert/hora (uSv/h) o nanosievert/hora (nSv/h).

Es importante recordar que la actividad y dosis son dos aspectos distintos de un mismo fenómeno y son dos mediciones diferentes, y no se debe confundir Becquerel con Sievert, ya que miden cantidades diferentes.

La radiactividad nos proporciona una medida de cuanta radiación se está produciendo, la dosis nos da una medida de que tan peligroso es un determinado campo de radiación para una persona.

Es posible tener una fuente que produce gran cantidad de radiación, pero que no presenta riesgo para las personas. No es la cantidad de radiación lo más importante cuando hablamos de riesgos de la radiación, sino la calidad o en otras palabras es crucial la energía de la radiación.

Se definirán algunos términos de uso común relacionados con la dosis que un individuo puede recibir

Límite de dosis: es el valor establecido internacionalmente de la dosis efectiva o de la dosis equivalente, y que no debe ser superada en un periodo determinado.

Límite anual de incorporación (ALI): es la cantidad de material radiactivo cuya incorporación da lugar como resultado a una dosis anual efectiva de 20 mSv/año para los trabajadores y de 1 mSv/año para el público, (Tabla I). Si la incorporación excede un 25% del ALI (5 mSv/año), se debe implementar un programa de protección radiológica que implica la protección respiratoria y/o limitación del tiempo de permanencia cerca de la fuente.

Dosis Absorbida: es la energía depositada en un tejido por una determinada radiación, la unidad de dosis absorbida es Gray

Grupo Expuesto	Limite de dosis anual	Total acumulativo en 5 años
Trabajadores	Cuerpo entero: 20 mSv/año Cristalino: 150 mSv/año Piel: 500 mSv/año	100 mSv
Público	Cuerpo entero: 1 mSv/año Cristalino: 15 mSv/año Piel: 50 mSv/año	5mSv

Tabla I - Limite de Dosis

Dosis Equivalente: es la dosis absorbida modificada por un factor de “peso” que depende del tipo de radiación. El factor de ponderación (wR) es para los rayos X, gamma y beta de 1; para los neutrones entre 5 y 20; y para las partículas alfa de 20.

Dosis Efectiva: el ICRP define dosis efectiva como la suma de todos las dosis equivalentes en tejidos multiplicados por los correspondientes factores de peso del tejido asociado; toma en cuenta el tipo de radiación (α, β, γ y n) y la sensibilidad a la radiación de los distintos órganos (wT) (Tabla II); la unidad es el Sievert (Sv).

Tejido u órgano	wT
Gónadas	0.20
Médula ósea (roja)	0.12
Cólon	0.12
Pulmón	0.12
Estómago	0.12
Vejiga	0.05
Mamas	0.05
Hígado	0.05
Esófago	0.05
Tiroides	0.05
Piel	0.01
Superficie ósea	0.01
Resto	0.05

Tabla II (Fuente Curso de Protección Radiológica Nivel Técnico. ARN. 2007)

Dosis equivalente efectiva, Dosis equivalente ponderada en términos de susceptibilidad de causar daño a los diferentes tejidos.

Dosis equivalente efectiva colectiva, Dosis equivalente efectiva originada por una única fuente de radiación que irradia a varias personas. (Sv/hombre).

Dosis equivalente efectiva colectiva comprometida, Dosis equivalente efectiva colectiva que será recibida a lo largo del tiempo por generaciones futuras, debido a una dada práctica de un dado periodo.

Tasa de dosis, es el valor de dosis absorbida por unidad de tiempo; normalmente hora o año y sus unidades son Sv/hora o Sv/año o submúltiplos de Sv/tiempo.

Monitoreo, es el conjunto de mediciones e interpretación de los resultados, que se realiza para evaluar la exposición a la radiación.

Optimización, son los procedimientos para reducir tanto como sea razonablemente alcanzable, teniendo en cuenta factores sociales y económicos, la dosis colectiva originada en una instalación o en una práctica.

Quando se mide la radiación hay dos cantidades que son importantes en protección radiológica; cuanta radiación hay y que tan peligrosa es. Puede no ser tan obvio pero no hay una conexión directa entre la cantidad de radiación producida (la

radiactividad de una fuente), y que tan dañino es el campo de radiación producido, ya que depende de muchos factores y dependiendo del caso es mas importante tener en cuenta uno u otro o ambos.

EFFECTOS BIOLÓGICOS

Los efectos biológicos se refieren a las modificaciones deseables o indeseables que produce la absorción de las radiaciones ionizantes en los seres vivos.

Todas las mezclas de uranio (natural, enriquecido y empobrecido) tienen los mismos efectos químicos en el cuerpo. En cantidades elevadas es un material tóxico que afecta los sistemas óseo, renal y otros órganos del cuerpo humano. Por ser radioactivo además, es cancerígeno, sobre todo cuando se lo inhala junto a gas radón 222.

La interacción de las RI con los sistemas biológicos responde a los mismos principios que se aplican para la interacción de las RI con la materia, pero las células cuentan con mecanismos que les permiten reparar el daño producido por las RI (daño inicial y daño residual).

El peligro de la radiación radica en que la energía de la misma puede alterar estructuras biológicas importantes en sus vínculos bioquímicos en la cadena del ADN del ser humano. En otras palabras la radiación puede interrumpir el balance químico que el cuerpo humano trata de mantener.

Estas alteraciones se pueden producir en forma directa por rotura a causa de la ionización, o indirectamente por los cambios sufridos a posteriori como la inducción de radicales libres

Las radiaciones alfa y beta son peligrosas por que son partículas que viajan a gran velocidad, cuando colisionan con los átomos que forman las células del cuerpo, pueden dañarlas arrancando electrones de ellos, este proceso es conocido como ionización.

Los rayos gamma producen ionización en una forma levemente diferente; en vez de colisionar con un electrón y expulsarlo del átomo, el rayo gamma es absorbido por el electrón, aumentando su energía. Este aumento de energía puede causar que el electrón escape de las órbitas del átomo. Un átomo que pierde un electrón se transforma en un ión el cual es químicamente reactivo y destruye el proceso natural dentro de la célula humana.

Ningún nivel de exposición a la radiación puede ser considerado seguro, ningún nivel es uniformemente peligroso; incluso a dosis elevadas no todas las personas resultan afectadas; los mecanismos de reparación del organismo usualmente neutralizan el daño producido.

El cáncer es el resultado de una condición de error permanente en el ADN, y para que se produzca el daño debe ser intermedio aunque no todo daño intermedio debe desarrollar un cáncer, si el daño es leve las propias células lo detectan y reparan, esto ocurre normalmente en exposiciones naturales; si el daño es total la célula muere y no afecta el resto de las células, como el caso del tratamiento del cáncer con radioterapia.

Análogamente una persona expuesta a una dosis de radiación determinada no está, ni mucho menos destinada a padecer cáncer o lesiones genéticas; simplemente incurre en un riesgo mayor que otra no irradiada. Es decir el riesgo es directamente proporcional a la dosis, pero no así el hecho de padecer algún efecto debido a la radiación.

Los efectos de la radiación han sido y son los mas investigados comparados con cualquier otro agente que produzca un riesgo similar.

El daño aparece después de haber alcanzado una dosis determinada o “umbral”, dado por los límites de exposición detallados en la Tabla III.

EFECTOS BIOLÓGICOS DE LA RADIACIÓN – DOSIS EN TODO EL CUERPO	
DOSIS (D)	EFECTO
D < 0.25 Gy	No hay efectos visibles
0.25 - 1 Gy	Sin síntomas o náuseas transitorias, en algunos pacientes se detectan cambios en encefalogramas.
1 – 2 Gy	Algunas personas presentan náuseas y vómitos, la mayoría de las personas se recupera sin tratamiento.
2– 4 Gy	La mayoría de las personas presentan náuseas y vómitos, fiebre y hemorragias. En las condiciones terapéuticas actuales todas las personas se pueden recuperar.
4 - 6 Gy	Náuseas, vómitos, fiebre, eritemas en piel, sin tratamiento la mayoría de los sobre expuestos muere, con asistencia la mayoría sobrevive.
6 – 10 Gy	Daños severos, con terapia apropiada algunos individuos sobre expuestos tienen posibilidades de recuperación.
> 10 Gy	Mortalidad del 100%

Tabla III (Fuente Curso de Protección Radiológica Nivel Técnico. ARN. 2007, (Resumido).)

Existen muchos parámetros a tener en cuenta para determinar el daño que puede producir la exposición a una radiación, depende del tejido u órgano irradiado, de la magnitud de la dosis, si se realiza en una o varias etapas, etc.

RADON

En los últimos años se ha determinado que una de las fuentes mas importantes de radiación natural, es un gas invisible, insípido, e inodoro; siete veces mas pesado que el aire denominado radón. Es un gas noble producido por el decaimiento natural

del radio ^{226}Ra proveniente del uranio ^{238}U , por ser gaseoso puede escapar fácilmente al aire desde el material que le dio origen.

Se estima que el radón y sus hijas contribuyen en tres cuartas partes a la dosis equivalente efectiva anual recibida por el hombre de fuentes naturales terrestres, y aproximadamente la mitad de la recibida de la totalidad de las fuentes.

La mayoría de estas dosis proviene de la inhalación de los radionucleidos, especialmente en ambientes cerrados, pero también se lo encuentra en los suelos graníticos y volcánicos.

El radón y sus descendientes sólidos penetran en los pulmones con el aire respirado. Los descendientes sólidos emiten rayos alfa (α), poco penetrantes, que irradian las células más sensibles de los bronquios. Este fenómeno puede inducir al desarrollo de un cáncer de pulmón, pero en muchísima menor proporción que el tabaco.

Se presenta en dos formas principales como gas radón ^{222}Rn de la serie de decaimiento del ^{238}U y gas radón ^{220}Rn proveniente de la serie de desintegración del ^{232}Th ; (Anexo II).

El gas radón puede emanar de los testigos y cutting de perforaciones, o concentrarse en bolsas de plástico de muestras cerradas. El gas radón no es considerado una fuente de riesgo para los trabajadores porque se asume que los testigos y cutting de perforaciones se manejan en lugares al aire libre o bien ventilado.

Las cajas y contenedores de testigos al igual que las bolsas con muestras de campo y ambientes deben ser ventiladas cuando los trabajadores realicen tareas en lugares cerrados. Si se almacenan grandes cantidades de material de alta ley ($> 5\%$ eU) en ambientes cerrados, se deberán hacer mediciones periódicas de gas radón.

Las carpas se estiman lo suficientemente livianas, por lo que no requieren ventilación. Las labores mineras pueden requerir ventilación si en forma natural no la poseen; y las labores subterráneas requieren obligatoriamente de ventilación además de las protecciones respiratorias usadas por los trabajadores.

Las viviendas son un importante fuente de radiación por gas radón, debido principalmente a los materiales de construcción, por lo que se recomienda que sean ventiladas periódicamente, en algunos países existen servicios que determinan la proporción de radón existente en las mismas y recomiendan las medidas a tomar, incluso en muchos lugares influyen en el precio de la propiedad.

Cuando la concentración anual promedio de Radón en las viviendas exceda los 400 Bq por m^3 se deben adoptar medidas de ingeniería para ventilar los ambientes y reducir las emanaciones.

VIAS DE INCORPORACION DE LA RADIACION

Las dosis de radiación que pueden recibir los trabajadores provienen de la inhalación o ingestión de polvo radiactivo natural proveniente de los trabajos, el cual puede ser insignificante si se toman medidas preventivas básicas.

Estas incluyen una buena limpieza para prevenir la suspensión del polvo en el ambiente por el movimiento de los trabajadores; el corte de testigos se debe realizar en un lugar bien ventilado o al aire libre y por proceso húmedo, y los trabajadores deben usar mascarillas como precaución en todo momento.

Básicamente existen dos orígenes de irradiación que representan riesgo para el ser humano.

- Irradiación externa: cuando el cuerpo es expuesto a las radiaciones ionizantes producidas por una fuente exterior. La dosis es función del tiempo y de la actividad de la fuente.
- Irradiación interna: cuando la persona ha incorporado en su organismo material radiactivo
 - Inhalación
 - Ingestión
 - Vía transcutánea

EXPOSICION A LAS RADIACIONES IONIZANTES

Se entiende como exposición a las RI a la situación en la cual un individuo se encuentra expuesto a radiaciones de fuentes radiactivas o ionizantes debido a diferentes circunstancias que pueden ser ocupacionales, públicas, médicas o accidentales.

La limitación de las exposiciones a las RI puede lograrse mediante controles en la fuente, en los procesos de transferencia ambiental o en la persona expuesta. Las posibilidades de aplicar estos controles dependerá del tipo de exposición (ocupacional, pública o médica), y según se refieran a situaciones de operación normal o de situaciones accidentales en las que se ha perdido el control sobre las fuentes.

Esos objetivos pueden ser alcanzados mediante la aplicación de tres principios básicos de la Protección Radiológica; justificación, optimización y limitación de dosis.

Justificación

Es un principio que evalúa los beneficios que producirá y la compensación del posible detrimento colectivo asociado con la utilización de fuentes de radiación; ningún tipo de exposición se justifica si no existe evidencia de que producirá beneficios a los individuos y a la sociedad.

Antes de llevar adelante cualquier actividad asociada a elementos radiactivos o la utilización de radiaciones ionizantes se debe evaluar técnicamente su justificación en base a los beneficios y los riesgos asociados obtenidos de su utilización; permitiendo a su vez desarrollar el conjunto de medidas destinadas a proteger a las personas y el medio ambiente de sus posibles consecuencias.

Optimización

La mayoría de las decisiones sobre las actividades humanas están basadas en un balance implícito de beneficio/costo; para ello se deberá destinar una determinada cantidad de recursos en pos de lograr los objetivos propuestos, de modo tal que esta relación sea máxima; en este criterio está basado el principio de optimización.

En protección radiológica este concepto es válido y aplicable teniendo en cuenta que el detrimento nulo es imposible cualquiera sea el recurso destinado al mismo.

En este campo la optimización se aplica al proceso que analiza y decide la magnitud de los recursos destinados a protección radiológica que teniendo en cuenta factores económicos y sociales, reduce el detrimento colectivo asociado a una determinada actividad, mediante la reducción de las dosis de radiación, el número de personas expuestas y la probabilidad de exposiciones potenciales.

La optimización puede lograrse mediante procedimientos de diverso grado de complejidad o también mediante razonamientos intuitivos.

Limitación de dosis

Los principios de justificación y optimización se basan en consideraciones colectivas sobre beneficios y detrimentos asociados con las fuentes de radiación, y pueden parecer contrapuestos en su aplicación; la posible inequidad se regula mediante la aplicación de límites de dosis o restricciones de dosis.

Los valores de límites de dosis se establecen con el criterio de definir lo que se considera un nivel aceptable, que para las personas no represente peligro de resultar afectado, y a su vez brinde un beneficio razonable de acuerdo al riesgo.

En la mayoría de los casos es factible adoptar medidas para que las dosis de radiación que reciban las personas sea apreciablemente inferior a los límites de dosis establecidos.

En la vigilancia de los límites de dosis se deben considerar las dosis proporcionadas por fuentes externas y las comprometidas por la incorporación de radionucleidos en el organismo. No deben tenerse en cuenta las dosis provocadas por la radiación natural ni las recibidas por las personas en carácter de pacientes durante los procedimientos médicos con fuentes de radiación.

El límite de dosis se considera a veces erróneamente como una línea divisoria entre lo seguro y lo peligroso; también se lo considera en ocasiones como la única medida de rigurosidad de un sistema de protección radiológica.

Si los procedimientos de justificación y optimización de la protección radiológica se han realizado en forma efectiva, serán pocos los casos en los que se tengan que aplicar los límites a las dosis individuales.

EXPOSICION OCUPACIONAL

Las personas que por la naturaleza de su actividad laboral deben interactuar con fuentes de radiación, en mayor o menor grado están inevitablemente expuestas a radiaciones. En este caso se da el nombre de Exposición Ocupacional a tales exposiciones.

Teniendo en cuenta la existencia de radiación natural la aplicación directa de esta definición implicaría que todos los trabajadores tendrían que estar incluidos en un régimen de protección radiológica. Por lo que la ICRP limita el uso de exposición ocupacional a aquellas exposiciones que se reciban en el lugar de trabajo como consecuencia de situaciones que puedan razonablemente considerarse como responsabilidad de la gestión de las operaciones.

Tal como se mencionara anteriormente el límite de dosis efectiva es de 20 milisievert (mSv) por año para los trabajadores relacionados con la actividad que incluya algún tipo de radiación.

Este valor debe ser considerado como el promedio en 5 años consecutivos (100 mSv en 5 años), no pudiendo excederse 50 mSv como dosis máxima en un único año.

A su vez los límites de dosis han sido establecidos equivalentes de 150 mSv en un año para el cristalino y 500 mSv por año para la piel.

Para los trabajadores expuestos a incorporación de radón 222 y sus productos de decaimiento de período corto, el límite es 14 milijoule hora por metro cúbico en un año de energía alfa potencial.

Los niveles de radiación asociados a materiales radiactivos de ocurrencia natural son muy bajos, en algunas ocasiones no se los puede diferenciar del nivel de radiación de fondo; de todas maneras se debe tener en cuenta que las dosis que se pudieran recibir cumplan con el principio internacional ALARA (As Low As Reasonably Achievable; tan bajo como sea razonablemente posible).

La filosofía de este concepto es que el trabajador y su empleador sean responsables de mantenerlos niveles de dosis personales recibidos tan cerca de cero como sea posible; en otras palabras no deben tomar riesgos innecesarios.

A estos niveles bajos de radiación es muy simple controlar la dosis utilizando tres técnicas básicas y simples.

- *Minimizar el tiempo de exposición:* Debido a que la exposición es proporcional al tiempo, la dosis recibida por un campo de radiación será menor mientras menos tiempo permanezca en dicho campo.
- *Maximizar la distancia a la fuente radiactiva:* El campo radiactivo decrece con el incremento de la distancia. En el cálculo preciso del decaimiento en función de la distancia es complejo dependiendo de múltiples factores (geometría, intensidad, etc.).
- *Emplear Blindajes:* Si incrementando la distancia y disminuyendo el tiempo de exposición no se alcanza una disminución razonable de la dosis, entonces puede ser necesario el empleo de blindajes (plomo, concreto etc.) para minimizar la radiación recibida. En la mayoría de los casos cuando se trabaja con NORM no es necesaria su utilización.

Quando se determina la radiación existente, hay dos cantidades relevantes a tener en cuenta para la protección radiológica; cuanta radiación hay y que tan peligrosa es.

Los grupos de trabajo en las diferentes actividades de la minería del uranio están propensos a recibir dosis de diferente magnitud, en trabajos de prospección, exploración y durante las perforaciones sean a diamantina o de cutting, tanto provenientes del uranio natural como de sus radioisótopos producto de su decaimiento.

Esta radiación es normalmente baja, la potencial exposición a fuentes de elevado contenido radiactivo también es bajo debido a que se trabaja en ocurrencias naturales de material radiactivo (NORM).

Esta guía ha tomado como referencia el documento desarrollado por The Federal Provincial Territorial Radiation Protection Committee of Canada; Canadian Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Materials, internacionalmente conocida como NORM.

Las clasificaciones de este programa resumen los requerimientos para el manejo de materiales NORM. Estas son establecidas en base a la dosis máxima anual recibida tanto para miembros del público como para el trabajador.

Esta clasifica en cuatro categorías a la dosis anual equivalente, asignándole el programa de protección radiológica a utilizar de acuerdo al compromiso de exposición anual recibido como se resume en la Tabla IV.

Una vez que se haya implementado un programa de NORM, ya sea NORM Management, Dose Management o Radiation Protection Management, se necesitan realizar revisiones periódicas, con el fin de verificar que no se hayan introducido cambios en el sistema que puedan afectar a las dosis de radiación.

En cada caso se determinará la frecuencia de inspección en base a los cambios introducidos en cada lugar de trabajo, y debe siempre aplicarse el principio ALARA.

Se puede decir que la exposición anual a la radiación los trabajadores en minería del uranio está determinada por la radiación gamma externa que reciben al trabajar cerca de testigos o cutting mineralizados.

Los grupos de trabajos de exploración no recibirán radiaciones significativas cuando trabajen con material mineralizado <0.2% de uranio natural.

Dosis anual en mSv/año	Programa de Protección Radiológica
Dosis < 0.3 en trabajadores	Acción: Ninguna No se requiere gestión de protección.
0.3<Dosis<1.0 en trabajadores < 0.3 en público	Acción: NORM Management. Las tareas involucradas son irrestrictas.
1.0<Dosis<5.0	Acción: Dose Management. Estimación de dosis a través de relevamientos y tiempo de trabajo. Se recomienda el asesoramiento de expertos. El acceso del público debe ser restringido, se debe verificar que no se introduzcan cambios en las condiciones de trabajo, notificación a los trabajadores de las fuentes de radiación, consideración de los procedimientos de trabajo y ropa protectora para limitar la dosis, entrenamiento de los trabajadores para controlar y reducir dosis, se deben estimar las dosis de los trabajadores, y las dosis deben ser reportadas al Registro Nacional de Dosis. Medición de Radiación en las áreas de Trabajo
Dosis>5.0	Acción: Radiation Management Programa de Protección Radiológica formal y la utilización de dosímetros para el control de dosis de los trabajadores. Se necesita la supervisión de un experto. Además de los requerimientos del punto anterior debe realizarse: un programa de protección radiológica similar al que se aplica a los trabajadores de la industria nuclear que exceden 5 mSv/a; debe utilizarse equipamiento protector; ropa y procedimientos de trabajo para reducir las dosis a los trabajadores y debe asegurarse que ningún trabajador supere el límite de dosis ocupacional promedio.

Tabla IV (Fuente Radiation Protection Guidelines for Uranium Exploration. Occupational Health and Safety. Saskatchewan Labour.)

PROTECCION EN LA EXPOSICION OCUPACIONAL

El monitoreo de los trabajadores expuestos a las radiaciones ionizantes es la herramienta fundamental que contribuye a alcanzar los objetivos de la protección radiológica ocupacional, esto es, asegurar que en condiciones normales de trabajo no

se superen los límites de dosis y reducir las exposiciones al nivel más bajo que razonablemente pueda alcanzarse.

El uranio natural por si mismo es levemente radiactivo, el radón como gas inerte radiactivo está presente en la atmósfera en muy pequeñas cantidades; en ambientes cerrados o confinados es notablemente mayor su concentración que en trabajos de minería a cielo abierto. Así por ejemplo algunas viviendas es mayor la concentración de radón que en una labor minera.

La radiación gamma puede ser un riesgo para los trabajadores expuestos a elevados valores de radiactivos de mena, esta proviene principalmente debido a la presencia de radio y la exposición debe ser controlada.

Se debe evitar el polvo que representa el mayor potencial a la radiación alfa y también el riesgo de radiación beta.

Las fuentes mas comunes de radiación en la exposición ocupacional en la minería del uranio pueden ser:

- Radiación gamma de mineralizaciones de uranio natural.
- Inhalación de radón y de sus productos hijos emanados naturalmente del cutting o de los testigos de las perforaciones.
- La inhalación de polvo radiactivo natural proveniente de las tareas principalmente de perforaciones.
- La ingestión de polvo radiactivo natural.

Tomando las precauciones adecuadas, la fuente primaria de radiación gamma externa dependerá de:

- La ley de mineralización.
- El tiempo de permanencia del trabajador cerca de la fuente.
- La cantidad muestras, testigos, cutting mineralizados.
- La distancia entre los trabajadores y las fuentes mineralizadas.

La dosis de radiación gamma puede calcularse someramente para una caja de testigos a una distancia de dos metros, tomados desde el centro de la caja como.

Dosis Radiación Gamma (uSv/h)=0.61*ley de uranio (%), (Fuente Radiation Protection Guidelines for Uranium Exploration. Occupational Health and Safety. Saskatchewan Labour)

EXPOSICION OCUPACIONAL EN LAS MUJERES

La base utilizada para el control de la exposición ocupacional de las mujeres es la misma que para los hombres, salvo en caso de que la mujer este embarazada.

Es de particular importancia la protección durante los periodos embrionario y fetal; se recomienda brindar una protección equivalente a los miembros del público.

Para las mujeres embarazadas se deben cumplir los siguientes requisitos:

- Toda trabajadora tan pronto conozca o presuponga su estado de gravidez debe notificarlo inmediatamente al responsable de la instalación o de la práctica.
- Con el objetivo de que la dosis en el feto no exceda el límite correspondiente para miembros del público, desde el momento en que es declarada la gravidez, las condiciones de trabajo deben ser tales que resulte altamente improbable que la dosis equivalente personal, $H_p(10)$, en la superficie del abdomen exceda 2 mSv, y que la incorporación de cada radionucleido involucrado no exceda 1/20 del límite anual de incorporación respectivo durante todo el período que resta de embarazo.

EXPOSICION OCUPACIONAL EN APRENDICES Y ESTUDIANTES

Debido a que puede presentarse la situación de que por motivos de llevar adelante actividades referidas a la licencia social con la participación de estudiantes en alguna de las tareas de la empresa en forma de pasantías para las personas comprendidas entre 16 y 18 años se toma como base la reglamentación vigente en las normas de EURATOM para tales situaciones.

Por lo que se fija un límite de 6 mSv /año para las personas mencionadas expuestas a las radiaciones ionizantes por los trabajos normales de prospección y exploración.

EXPOSICION DEL PUBLICO

Algunos miembros de la población pueden resultar también inevitablemente expuestos a radiaciones debido a la cercanía circunstancial o permanente de fuentes de radiación natural o por estar involucrados en procesos de transferencia ambiental de radionucleidos. Este tipo de exposición recibe el nombre de Exposición del Público.

En todas las situaciones normales, el control de la exposición del público se realiza mediante la aplicación de controles sobre la fuente.

Los límites de dosis para miembros del público se aplican a la dosis promedio en el grupo crítico.

El límite de dosis efectiva es 1 mSv en un año y los límites anuales de dosis equivalente son 15 mSv para el cristalino y 50 mSv para la piel.

Para una instalación en particular, la Autoridad Regulatoria Nuclear podrá establecer en la Autorización de práctica no rutinaria o en la Licencia de Operación, restricciones de dosis para las dosis individuales de los miembros del público y para las dosis colectivas, las que actuarán restringiendo el proceso de optimización.

La radiación natural es muy dispersa y no puede ser evitada, la exposición del público o el nivel mínimo es el punto por sobre el cual se debe prestar especial atención a la radiación proveniente de cualquier material, incluyendo NORM.

La radiación por debajo del mínimo es considerada sin importancia en términos de efectos potenciales en los individuos y del ecosistema. Los materiales cuyo nivel de radiación no superen este nivel no requieren ninguna categorización para identificar los radionucleidos que contiene.

ACEPTABILIDAD DE LOS RIESGOS

Finalmente y previo a detallar la guía de Protección y Seguridad Radiológica de EMSA, se considerará la aceptabilidad de los riesgos desde el punto de vista práctico.

Un gran número de personas incurren en riesgos muy superiores a los asociados con la radiación cuando fuman o conducen, un individuo que recibe la dosis normal de radiación tanto de fuentes naturales como artificiales en una ciudad cualquiera tiene una probabilidad cinco veces mayor de morir en una ruta y mas de 100 veces mayor de morir si fuma 20 cigarrillos por día, que de contraer cáncer inducido por la radiación.

Existe además poca preocupación pública por la radiación natural que contribuye en unos 4/5 de la dosis equivalente efectiva anual; poca gente se mudaría por una razón como esta.

Evaluar la aceptabilidad de los riesgos es muy difícil, y a menudo es también difícil evaluar los beneficios y determinar los costos para estos; y no es suficiente demostrar que un proceso peligroso es beneficioso para la sociedad en su conjunto.

Tomar riesgos voluntarios como un deporte de alto riesgo, fumar o conducir; es inherente a la libertad individual aunque normalmente traiga consecuencias a terceros. La posibilidad de imponer riesgos a otros no lo es, cuando las personas se sienten impotentes para afrontar tales riesgos y no tienen control sobre ellos son menos tolerantes.

Sin embargo la palabra radiación por si sola tiene un significado muy amplio, pero normalmente es asociada a efectos perjudiciales probablemente porque su origen es asociado con guerras atómicas y por lo tanto es sensible a los oídos de la comunidad; además nadie habla de las radiaciones electromagnéticas de los electrodomésticos o del perjuicio a la sobreexposición a los Rayos X en diagnósticos médicos cuya radiación son del mismo tipo.

Por lo tanto es obligación de quien propone el riesgo minimizarlo poniendo al alcance de sus empleados y de la sociedad las herramientas y conocimiento con el objetivo de desmitificar los efectos.

Dentro del concepto de la administración de los riesgos es prácticamente imposible reducir los riesgos a cero (detrimento nulo), esto implicaría la inactividad humana ya que cualquier actividad posee riesgos asociados; por lo que se deberá definir en que medida los riesgos tecnológicos son aceptables y que metas adicionales se deben cumplir para reducir al máximo el riesgo asociado que a su vez deben balancearse con los costos y las implicancias sociales.

Los riesgos son componentes normales de la vida que pueden ser, en muchos casos, notoriamente reducidos pero nunca por completo eliminados. Las tareas que involucran la utilización de materiales radiactivos y radiaciones ionizantes aportan importantes beneficios en la medicina, la industria, la investigación y desarrollo, la agricultura o la generación de energía eléctrica, beneficios que, para ser aceptables, no deben implicar riesgos radiológicos que excedan otros riesgos normalmente admitidos en la vida diaria en relación con otras actividades humanas.

Los aspectos sociales tienen un rol importante en la percepción de los riesgos tecnológicos y en general esta percepción es mayor cuando se trata del riesgo radiológico; existe mayor aprehensión a la contaminación radiactiva que al cancer producido por el cigarrillo o las muertes por accidentes de tránsito y esto se debe a la consideración de no percibe un beneficio directo inmediato como es ahorrar tiempo en un viaje por autopista, la obtención de los beneficios de la radiactividad son tomados como comodidades cotidianas, sin tomar en cuenta que un área que contenga residuos radiactivos en condiciones adecuadas y cumpliendo normas internacionales representa menor riesgo que un estudio por radiodiagnóstico.

CULTURA DE SEGURIDAD

El enfoque moderno respecto a la seguridad y protección radiológica está comprendida dentro de los conceptos de la implementación de la cultura de seguridad.

Si bien el sistema de control es responsable por llevar adelante las prácticas dentro de un marco claro y reglamentado de seguridad y protección radiológica, y nada lo libera de su responsabilidad; es la participación de los trabajadores con el cumplimiento de las normas establecidas lo que da la efectividad al sistema de control.

Es el trabajador quien tiene que tomar como costumbre cotidiana revisar y utilizar los elementos de seguridad y protección recomendados, y evaluar los riesgos en forma lógica y realista de cada práctica, con el tiempo se incorporan los procedimientos y se toma como práctica normal su utilización.

La comunicación de la información es la parte esencial de los nuevos conceptos, ya que la percepción de la diferencia entre riesgo y peligro es sensiblemente diferente entre el público y los expertos, por lo que es de relevante importancia brindar información transparente y seria en lenguaje simple y comprensible para los diferentes estratos sociales para formar una opinión sólida con bases comprobables.



SECCION II

FUNCIONES de SEGURIDAD Y PROTECCION RADIOLOGICA en EMSA

Seguridad y Protección Radiológica de EMSA tiene como prioridad mantener un elevado estándar de cuidado de la salud y la seguridad radiológica tanto de sus empleados como de las personas que se relacionan laboralmente con la empresa.

Con este objetivo es que posee como función principal la implementación, control, divulgación, de la política de Seguridad y Protección Radiológica de la empresa con las empresas de servicios y contratistas y diferentes comunidades que lo requieran además del seguimiento y control radiológico ocupacional de los empleados de EMSA.

Además se encargará de realizar las modificaciones, actualizaciones y publicaciones de la presente guía y de las guías de campo implementadas por EMSA, de acuerdo a las actualizaciones que se produjeran en Seguridad y Protección Radiológica o que surgieran de la propia experiencia; para ello se realizará anualmente una revisión completa de toda la documentación pertinente.

Tanto los empleados de EMSA, como así también los empleados pertenecientes a las empresas de servicio y contratistas deberán firmar la debida notificación referida al conocimiento de la política de Seguridad y Protección Radiológica de EMSA y del conocimiento del contenido de las guías correspondientes en cada caso.

Seguridad y Protección Radiológica llevará toda la documentación correspondiente a las notificaciones y a las planillas de seguimiento y control dosimétrico; y periódicamente o anualmente se le informará a cada empleado de EMSA el resultado de los controles implementados por la empresa.

De igual forma las empresas contratadas y los empleados de la misma que hayan realizado tareas para EMSA serán informados de las dosis recibidas durante los trabajos de los que fueron objeto de la contratación

La documentación correspondiente a cada empleado será conservada por la empresa mientras dure su actividad o podrá ser transferida a terceros que retomen la actividad y que así lo requieran; igual procedimiento se seguirá con los registros de los empleados de las empresas contratistas y de servicios y con los registros de monitoreo de las zonas de trabajo y el público.

Por otro lado los trabajadores serán responsables de contribuir a la seguridad y protección radiológica personal, para el resto de los trabajadores y el público, siguiendo y cumpliendo los procedimientos y normas establecidas por SPR.

CONTROL Y REGISTROS EN LA EXPOSICION OCUPACIONAL (Interno)

El control y registro de la exposición ocupacional implementado por EMSA comprende el seguimiento y control individual en forma mensual y anual de las dosis

incorporadas por cada uno de sus integrantes que desarrollen tareas en ambientes con radiación provenientes de materiales radiactivos de ocurrencia natural.

El seguimiento del empleado se realizará mensualmente indicando las novedades si las hubiere en la planilla del Anexo I; si la empresa cree necesario la asignación de un dosímetro de acuerdo al tipo de tareas a desarrollar, los resultados se transcribirán en el casillero correspondiente; si no se le hubiese asignado un dosímetro, pero en el grupo de trabajo otro empleado lo tuviera, se le asignará el valor determinado en ese dosímetro.

En el futuro para la etapa de producción se implementará el control anual del personal a realizarse sobre orina en laboratorios homologados por la ARN; la práctica será solicitada por un Profesional Médico que la Empresa designe y para los mismos se deberá seguir el procedimiento adecuado.

TRANSPORTE DE MUESTRAS (Interno)

En la República Argentina el organismo contralor de toda la actividad nuclear, ARN, posee reglamentaciones específicas para el transporte de materiales radiactivos de ocurrencia natural tecnológicamente tratados (TENORM), es decir aquellos materiales radiactivos naturales obtenidos a partir de la etapa de explotación, y que han sufrido una variación en la concentración por unidad de masa.

El transporte de material radiactivo tecnológicamente tratado está regulado bajo la Norma AR 10.16.1; en concordancia con normas internacionales del OIEA a través del Regulación para el Transporte Seguro de Materiales Radiactivos, Colección de Normas de Seguridad TS-R-1; estas normas no tienen alcance sobre los NORM.

En el transporte de materiales radiactivos de ocurrencia natural tal como se lo encuentra en la naturaleza al igual que en el caso de prospección y exploración no posee reglamentación alguna.

No se formulan disposiciones específicas respecto a rótulos indicando la naturaleza radiactiva del contenido cuando se trate de materiales radiactivos de ocurrencia natural; si puede requerirse para indicar otras propiedades peligrosas del contenido.

Las siguientes indicaciones son válidas para el transporte de muestras para laboratorio, y también de testigos y cutting cuando se realice por parte de empleados de la empresa y en vehículos asignados por la misma y es solo de aplicación en EMSA.

Para muestras líquidas: no corresponde

Para muestras sólidas: para las muestras sólidas deben ser envasadas en bolsas plásticas de por lo menos 120 micrones, y transportadas en cajones acondicionados para tal fin.

Cada Bolsa debe estar identificada por medio de rótulos con tinta indeleble o permanente con el número o identificación de muestra correspondiente, siempre legible y a la vista.

El transporte de muestras desde los lugares de trabajo hasta los lugares de almacenamiento transitorio previo al envío a laboratorio deberá hacerse en las mochilas proporcionadas por EMSA, ya que poseen elementos de blindaje a la altura de la espalda.

El transporte de todo tipo de muestra que contenga minerales radiactivos naturales de baja actividad vía terrestre deberá realizarse únicamente en cajas con blindaje interior proporcionadas por EMSA, y en la caja de los vehículos.

Como el material radiactivo natural (fuente), puede variar tanto en concentración como en cantidad, es que para el transporte de muestras se utilizarán cajas con blindajes de plomo de 5 mm de espesor, o con tela plomada o de otro material que sirva para atenuar la radiación, esto se debe a que normalmente los blindajes son específicos para determinados radioisótopos y de energía definida, pero en el caso de transporte de muestras minerales la fuente se puede considerar variable.

ALMACENAMIENTO DE MUESTRAS (Interno)

Al igual que en el caso de transporte de muestras, en el país, la ARN no posee reglamentaciones específicas para el almacenamiento de materiales radiactivos de ocurrencia natural.

No obstante se debe prestar especial atención al almacenamiento de muestras radiactivas en lugares cerrados, por el desprendimiento de gas radón que puede concentrarse en áreas pobremente ventiladas y deberá limitarse la cantidad de muestras, testigos y cutting tanto como sea posible.

Antes de entrar a lugares de almacenamiento de muestras se deberá ventilar, y utilizar máscaras con filtro de carbón activado en todo momento para evitar la ingestión de gas radón, además del equipo de protección normal de guantes, anteojos de seguridad.

No se deben utilizar las cajas de testigos o cutting como asientos, bancos o mesas; y no tocar muestras de roca, cutting, testigos, con partes del cuerpo sin protección.

EMSA proporcionará cajas apropiadas para el almacenamiento temporal de muestras que deberán ubicarse en el exterior de las viviendas o campamentos y alejadas de los lugares de almacenamiento de víveres y dormitorios.

Si EMSA lo cree aplicable, realizará controles de los lugares de almacenamiento de muestras y proporcionará dosímetros detectores de radiación en el caso de que se

desarrollen tareas en forma continua en lugares de almacenamiento de muestras para permitir un adecuado control de las dosis radiactivas incorporadas durante los trabajos.

Antes de manipular muestras de campo embolsadas en bolsas plásticas deberá abrir las mismas en un lugar al aire libre y dejar que se elimine en forma natural el gas radón que pudiera haber acumulado.

Está terminantemente prohibido guardar muestras, cutting, testigos o parte de ellos o cualquier otro material radiactivo natural o artificial o contaminado en oficinas o lugares no autorizados.

Los trabajadores deberán lavarse las manos después de manejar elementos como testigos de perforaciones, cutting, muestras de mano, etc.; antes de comer o fumar para evitar algún tipo de contaminación.

No es necesaria ninguna señalización especial en cuanto a los lugares o contenedores temporarios de muestras para su identificación respecto al contenido radiactivo de las mismas.



ANEXO I

PLANILLAS DE CONTROL

**Para: Empleados de EMSA
Empresas Contratistas y Proveedoras
Público**



ANEXO II

CADENAS DE DESINTEGRACION

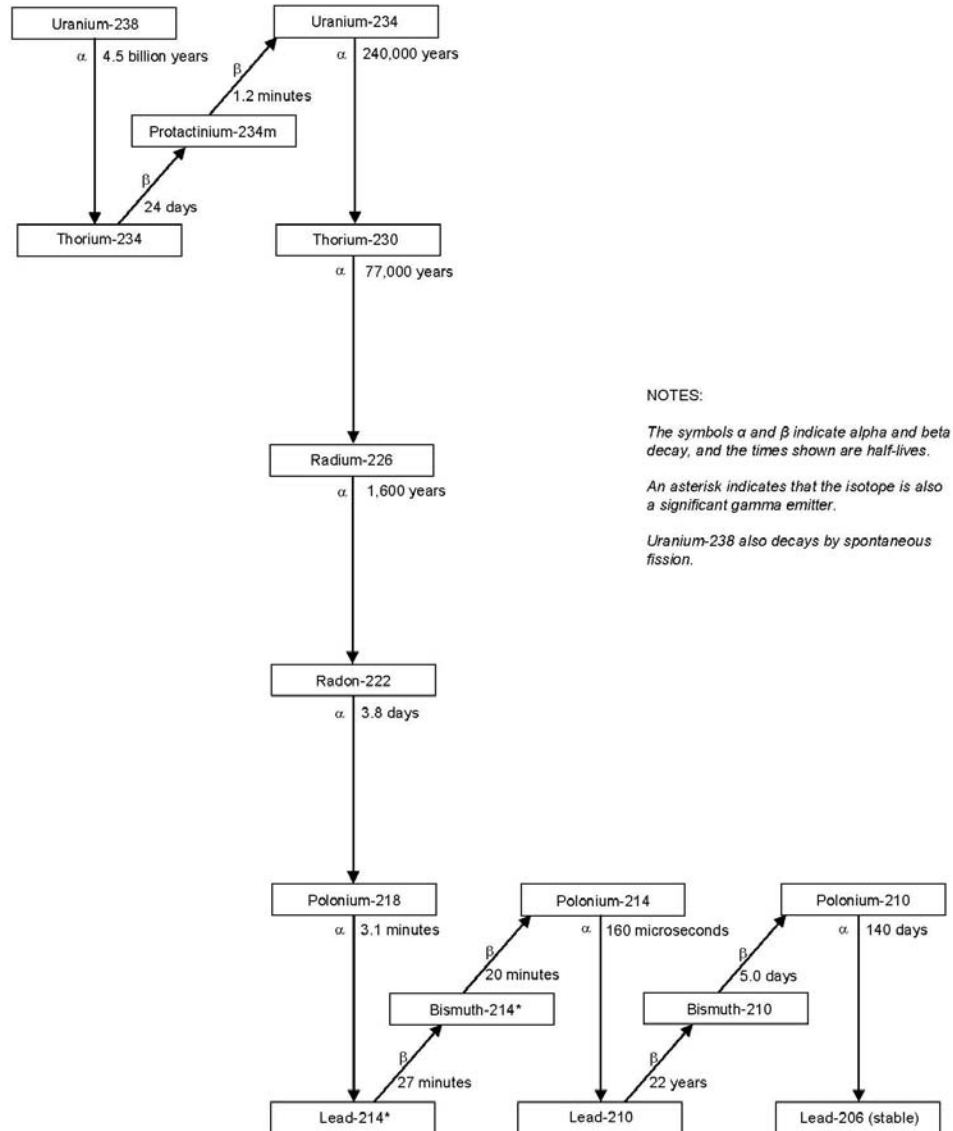
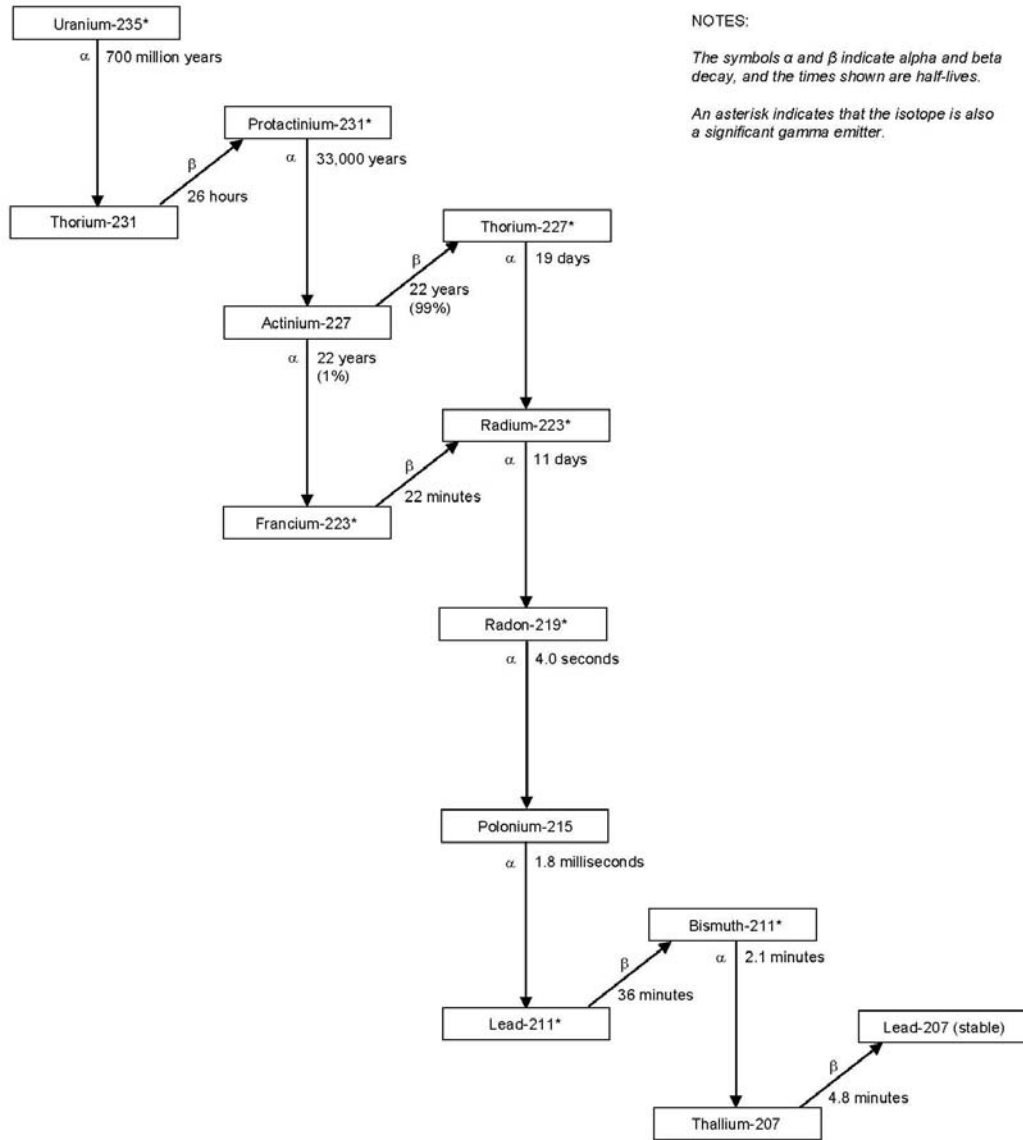


FIGURE N.1 Natural Decay Series: Uranium-238



NOTES:

The symbols α and β indicate alpha and beta decay, and the times shown are half-lives.

An asterisk indicates that the isotope is also a significant gamma emitter.

FIGURE N.2 Natural Decay Series: Uranium-235

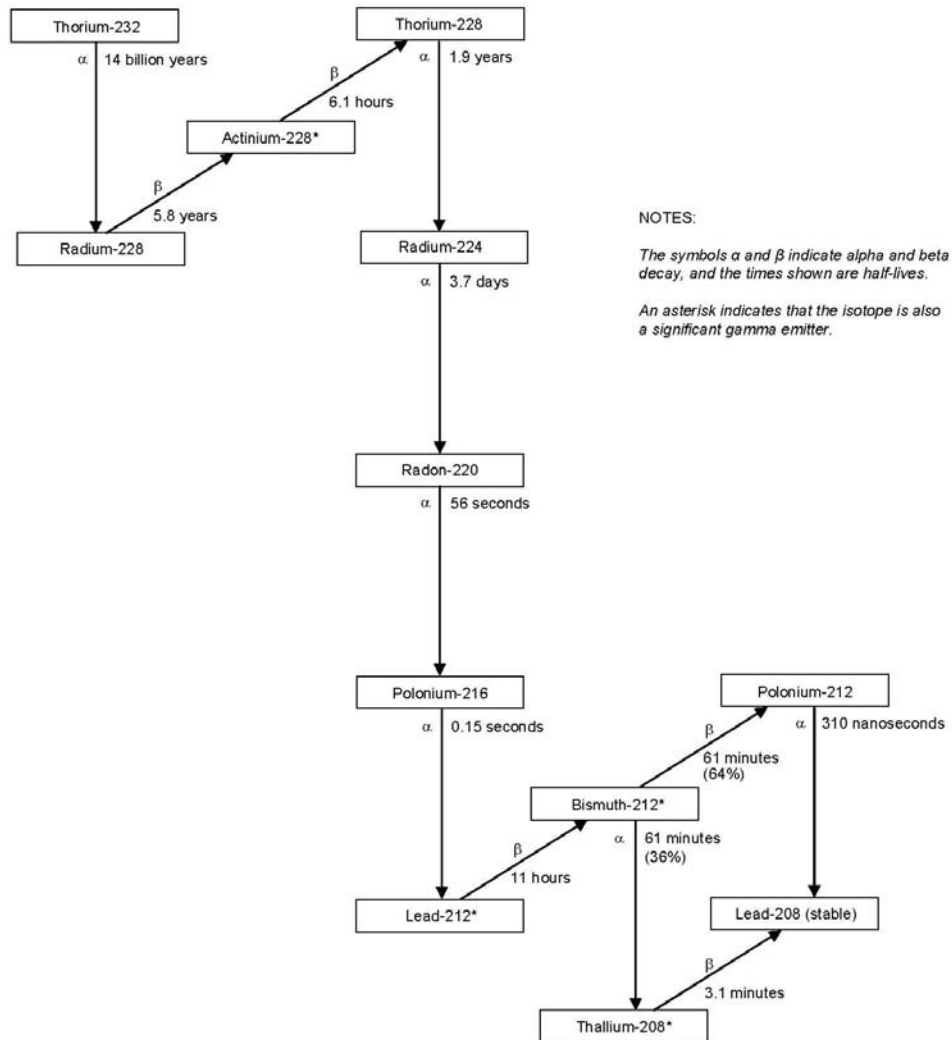


FIGURE N.3 Natural Decay Series: Thorium-232

BIBLIOGRAFIA

- A Brief Discussion About Naturally Occurring Radioactive Materials, NORM. Stuart Hunt and Associated Ltd.
- Application of the Concepts of Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Standards, Series N° RS-G-1.7, Safety Guide IAEA 2004.
- AR 10.1.1 Norma Básica de Seguridad Radiológica. ARN. 2003.
- AR 10.16.1 Transporte de Materiales Radiactivos. ARN. 2004.
- Canadian Guidelines for the Management of Naturally Occurring Radioactive Materials; NORM. Canadian NORM Work Group, Federal Provincial Territorial Radiation Protection Committee. 2000.
- Curso de Protección Radiológica Nivel Técnico. ARN. 2007.
- El radón: Institut de Protection et de Surete Nuclearie. Francia.
- Environmental Aspects of Uranium Mining. Paper 10. 2006.
- Esquemas Sinópticos de los Requisitos Aplicables al Transporte de Tipos Específicos de Remesas de Material Radiactivo.- Guía AR 2 Revisión 0. ARN 2003.
- European Commission- Radiation Protection Division, Council Directive 96/29 EURATOM.
- Evaluación de la Exposición Ocupacional Debida a Fuentes Externas de Radiación, Guía de Seguridad RS-G-1.3 Colección de Normas de Seguridad del IAEA.
- Fundamentos de la Protección Radiológica. Protección Radiológica. Instituto Balseiro.
- Guía de Seguridad 6.2 Programa de Protección Radiológica Aplicable al Transporte de Materiales Radiactivos Consejo de Seguridad Nuclear 2002.
- Guidelines for Uranium Exploration. Health and Safety Committee. Association for Mineral Exploration, British Columbia (AME BC). 2006.
- Health Dangerous of Uranium Mining and Jurisdictional Questions. British Columbia Medical Association. 1980
- Impact of New Environmental and Safety Regulations on Uranium Exploration, Mining and Milling and Management of its Waste. IAEA TECDOC 1244. 1998.
- ICRP-60 – International Commission of Radiological Protection, 1990.
- La Industria del Uranio en la Argentina. Plaza H. ARN. 2003.
- Occupational Radiation Protection, Protecting Workers Against Exposure to Ionizing Radiation. IAEA. 2002.
- Occupational Radiation Protection in the Mining and Processing of Raw Materials, Safety Standards Series N° RS-G-1.6, IAEA 2004.
- Optimization of Radiation Protection in the Control of Occupational Exposure, Safety Reports Series N° 21, IAEA 2002.
- Principios Fundamentales de Seguridad, Normas de Seguridad del OIEA, SF-1, 2007.
- Protección Radiológica. Gestión en Radiología. Boletín Informativo de la Sección de Gestión y Calidad de la SERAM (SEGECA). Mayo 2005.
- Protección Radiológica Ocupacional, Guía de seguridad RS-G-1.1. Colección de Normas de Seguridad del OIEA. 2004
- Radiation Protection Guidelines for Uranium Exploration. Occupational Health and Safety. Saskatchewan Labour.
- Radiación, Dosis Efectos y Riesgos. Sociedad Argentina de Radioprotección. 1985.
- Radioprotección en las Radiaciones Médicas de las radiaciones ionizantes. Manual Técnico. ARN. 2000.



- Regulations for the Safe Transport of Radioactive Material, Safety Requirements N° TS-R-1. IAEA Safety Standards. 2005 Edition.
- Radiation Protection and Radioactive Waste Management in Mining and Mineral Processing
- (2005) Radiation Protection Series Publication No. 9 August 2005 Australian Radiation Protection and Nuclear Safety Agency.
- Radón, Universidad de Cantabria, - Consejo de Seguridad Nuclear
- Safety Guidelines for Mineral Exploration in Western Canada. Health and Safety Committee. Association for Mineral Exploration, British Columbia (AME BC). Fourth Edition. 2006.
- The Health and Safety Impact of Uranium Mining September 1999 Nuclear Information Centre The Conservation Centre



Nota Final:

El principio básico de la presente guía es su salud y bienestar; EMSA considera su labor como aporte importante en su desarrollo, por lo tanto las normas enumeradas y las indicadas por el responsable del grupo de trabajo están pensadas en su propio beneficio y seguridad, por lo tanto respételas.

EMSA y Seguridad y Protección Radiológica agradecerán cualquier aporte que realice con la finalidad de desarrollar y perfeccionar la presente guía.

Esta guía, su reglamentación, conceptos e información es propiedad exclusiva de EMSA para uso interno; y su reproducción total o parcial está prohibida sin la debida autorización.

Producido por Daniel Guzmán
Responsable Seguridad y Protección Radiológica
Energía Mineral (Inc.) S.A.