



Comité Asesor de Salud, Protección Civil y Manejo Ambiental

Guía técnica de acción para

residuos radiactivos

Dra. Irma Gavilán García
Coordinadora



Primera edición 2014 © D.R. Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal. La publicación de esta obra fue posible gracias al apoyo de la Coordinación de Comunicación, a través de los Departamentos de Editorial y de Información (Taller de Imprenta).
Responsable editorial: Brenda Álvarez Carreño.
Diseño de portada: Vianey Islas Bastida y Víctor Alcántara Concepción.
Diseño de interiores: Víctor Alcántara Concepción.
Hecho en México. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.
ISBN: 978-607-02-5642-4

Guía técnica de acción para residuos radiactivos

**ISBN: 978-607-02-5642-4
FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM**

**Coordinadora
Irma Gavilán García**

**Autores
Víctor Alcántara Concepción
Gema Susana Cano Díaz
Arturo Gavilán García**

**Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química
Agosto 2014**

**Primera edición 2014 © D.R. Universidad Nacional Autónoma de México.
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán, C.P. 04510, México, Distrito Federal.
La publicación de esta obra fue posible gracias al apoyo de la Coordinación de
Comunicación, a través de los Departamentos de Editorial y de Información (Taller de
Imprenta).**

Responsable editorial: Brenda Álvarez Carreño.

Diseño de portada: Vianey Islas Bastida y Víctor Alcántara Concepción.

Diseño de interiores: Víctor Alcántara Concepción.

**Hecho en México. Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier
medio, sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.**



unam
donde se construye el
futuro



Comité Asesor de Salud, Protección Civil y Manejo Ambiental

Guía técnica de acción para residuos radiactivos

Dra. Irma Gavilán García
Coordinadora

Victor Alcántara Concepción
Gema Susana Cano Díaz
Arturo Gavilán García
Autores



Primera edición: 2014
Fecha de edición: 2 de julio de 2014

D.R.© 2014 UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
Ciudad Universitaria, Delegación Coyoacán,
C.P. 04510, México, Distrito Federal.

ISBN: 978-607-02-5642-4
Tamaño: 27.40 MB
Tipo de impresión: PDF

“Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio,
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales”.

Impreso y hecho en México

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	● IX
PRÓLOGO	● X
TELÉFONOS DE EMERGENCIA	● XI
DIAGRAMA PARA LA IDENTIFICACIÓN DE RESIDUOS PELIGROSOS	● XIII
DIAGRAMA PARA EL MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS	● XIV
1. INTRODUCCIÓN	● 1
2. ALCANCES	● 1
3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES EN MATERIA DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 1
3.1. DIRECCIÓN	● 1
3.2. NIVEL ADMINISTRATIVO/TÉCNICO	● 2
3.3. COORDINADOR ESPECIALISTA EN RESIDUOS RADIATIVOS	● 2
3.4. SUPERVISORES DE LABORATORIO/JEFES DE DEPARTAMENTO/COORDINADORES	● 2
3.5. INVESTIGADOR/PROFESOR TITULAR	● 2
3.6. TÉCNICOS ACADÉMICOS/ESTUDIANTES	● 2
3.7. ENCARGADO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA	● 3
3.8. COMITÉ DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA	● 3
4. OBLIGACIONES Y REQUISITOS EN INSTITUCIONES DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN	● 3
5. MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 8
6. MATERIAL Y EQUIPO DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 14
7. SEGREGACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 16
8. MEDIDAS PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN EL LABORATORIO	● 17
8.1. RESIDUOS LÍQUIDOS (FUENTES ABIERTAS)	● 18
8.2. RESIDUOS SÓLIDOS (FUENTES ABIERTAS)	● 20
8.3. RESIDUOS DE FUENTES CERRADAS	● 21
9. ETIQUETADO DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 22
10. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 23
11. ALMACÉN TEMPORAL DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 25
12. CRITERIOS DE TRATAMIENTO POR DECAIMIENTO DE RESIDUOS RADIATIVOS DE FUENTES ABIERTAS	● 27
13. REQUERIMIENTOS PARA DISPOSICIÓN DE FUENTES CERRADAS Y ABIERTAS	● 30
14. REGISTROS DE INFORMACIÓN ACERCA DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 31
15. RESPUESTA A EMERGENCIAS	● 32
16. CAPACITACIÓN	● 34
17. EVALUACIÓN SOBRE EL MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS	● 36
18. BIBLIOGRAFÍA GENERAL	● 44
19. RECURSOS ELECTRÓNICOS	● 45
20. GLOSARIO	● 46

ANEXO I: CONCENTRACIONES LÍMITE EN EFLUENTES GASEOSOS Y VERTIMIENTOS	●	50
ANEXO II: HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DE LOS RESIDUOS RADIACTIVOS MÁS COMUNES EN UNIVERSIDADES	●	52
ANEXO III: AUDITORÍAS INTERNAS	●	64
ANEXO IV: SEÑAL DE SEGURIDAD E HIGIENE RELATIVA A RADIACIONES IONIZANTES. SÍMBOLO UNIVERSAL DE RADIATIVIDAD	●	69
ANEXO V: BITÁCORAS DE MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS RADIACTIVOS	●	70
ANEXO VI: MANIFIESTO DE EMBARQUE	●	72

PRESENTACIÓN

Como parte de los trabajos del Comité Asesor de Salud, Protección Civil y Manejo Ambiental, encabezado por la Secretaría Administrativa de la UNAM, se acordó en la reunión del 29 de mayo de 2006, dentro del marco del Programa de Manejo Adecuado de Residuos Peligrosos, el desarrollo de tres Guías técnicas de acción para residuos peligrosos (químicos, biológicos y radiactivos).

Esta guía es una herramienta de apoyo dirigida a los responsables de seguridad radiológica. En ella se consideran los principales aspectos técnicos sobre la identificación y separación de residuos radiactivos, su manejo, segregación, equipo de protección, bases para el almacenamiento, requerimientos legales y una evaluación que permitirá al generador conocer su desempeño.

Las tres guías fueron elaboradas por el siguiente grupo de trabajo:

Dra. Irma Cruz Gavilán (Jefe de la Unidad de Gestión Ambiental, Facultad de Química, UNAM)

M. en I. Víctor Alcántara Concepción

M. en I. Gema Susana Cano Díaz

M. en I. Arturo Gavilán García

PRÓLOGO

En la Universidad Nacional Autónoma de México se desarrollan actividades de docencia e investigación en diversas áreas del conocimiento, lo que hacen posible el avance de la ciencia y la formación de profesionistas para la constante construcción del país.

Algunas de estas actividades implican el uso y manejo de materiales radiactivos, por tanto, deben realizarse en el marco de una sólida cultura de seguridad y prevención de riesgos, que también considere el hecho de que constantemente ocurren cambios en los contenidos en los que se forma al estudiantado, así como innovaciones en materia de investigación.

Nuestra casa de estudios siempre ha demostrado ser pionera en la implementación de programas institucionales en beneficio de la sociedad mexicana, por tal motivo, la responsabilidad de efectuar una gestión adecuada de sus residuos radiactivos es un compromiso moral, ético y legal de la Universidad.

La seguridad radiológica tiene sus orígenes en los desastres radiactivos que se han suscitado en el mundo, con su principal referente en la explosión del hidrógeno acumulado en el reactor 4 de la central nuclear de Chernóbil (Ucrania), el 26 de abril de 1986. Esta explosión es considerada como el accidente nuclear más grave según la Escala Internacional de Accidentes Nucleares. Si bien, las instalaciones universitarias no albergan riesgos de tal magnitud, los sistemas de seguridad radiológicos para la manipulación de materiales y residuos radiactivos están forzosamente adecuados a los sistemas internacionales, diseñados por el estudio científico de las fallas que han provocado accidentes. De ahí la importancia de seguir una reglamentación estricta desde la llegada de materiales a las instalaciones universitarias, hasta el retiro de sus residuos, materiales y equipos con sustancias radiactivas que pudiesen provocar riesgos.

A través del Programa de Manejo Adecuado de Residuos Peligrosos, se establecen las estrategias y procedimientos propios para aprovechar y manejar de manera ambientalmente segura todos los tipos de residuos peligrosos generados en las actividades de docencia e investigación en la UNAM, con el objetivo de dar cumplimiento a la legislación ambiental vigente.

Este documento es una herramienta de apoyo dirigida a los usuarios de laboratorios de docencia e investigación, que de ninguna manera sustituye los conocimientos de las propiedades de los materiales peligrosos y la experiencia profesional.

TELÉFONOS DE EMERGENCIA

Servicios de Emergencia en la UNAM	Extensión desde CU	Teléfonos
Auxilio UNAM	22430	5616-1922 5616-0967
	22432	
	22431	
	22433	
Servicios Médicos URGENCIAS	20140	5616-0914
	20202	5622-0140 5622-0202
Sistema de Orientación en Salud		5622-0127
Bomberos	20565	5616-1560
	20566	
Red de Emergencias	55	
CENAPRED		5424-6100

Nota: Para la Extensión del Sistema Telefónico de la UNAM (cinco dígitos), deberá marcar directamente a extensiones de cinco dígitos, si no cuenta con extensión de cinco dígitos, marque el prefijo 562 + la extensión y obtendrá el número directo.

Servicios de Emergencia en el DF	Teléfonos	Servicios de Emergencia en el DF	Teléfonos
Bomberos	5768-2532 068	Escuadrón de Rescate y Urgencias Médicas	066
Centro Antirrábico	5796-4260 5796-3770	Fugas de Gas L.P.	52425100
Comisión de Búsqueda y Salvamento	5571-3230 5571-3470	Incendios Forestales	56831142
Cruz Roja	53951111 065	Locatel	56581111
Comisión Federal de Electricidad (CFE)	071	Sistema de Emergencia en Transporte para la Industria Química (SETIQ)	55591588
Emergencia y Auxilio	060	Protección y Vialidad	52560606
Telsida	52074077	Tel - Sangre	51194620 51194621

Entidades externas en materia radiológica y ambiental	Teléfonos
Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias	5095-3200
Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares	5329-7200
Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales	5628-0602 al 05

Diagrama para la identificación de residuos peligrosos

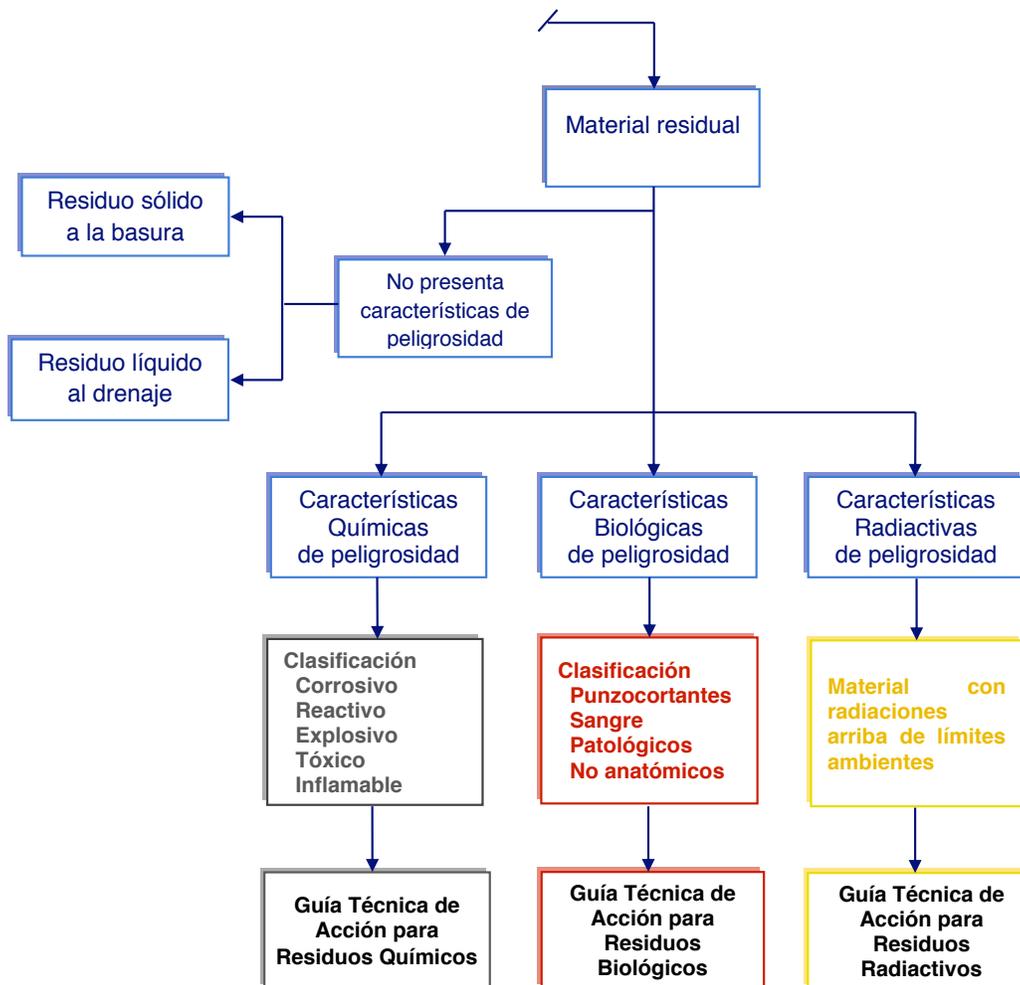
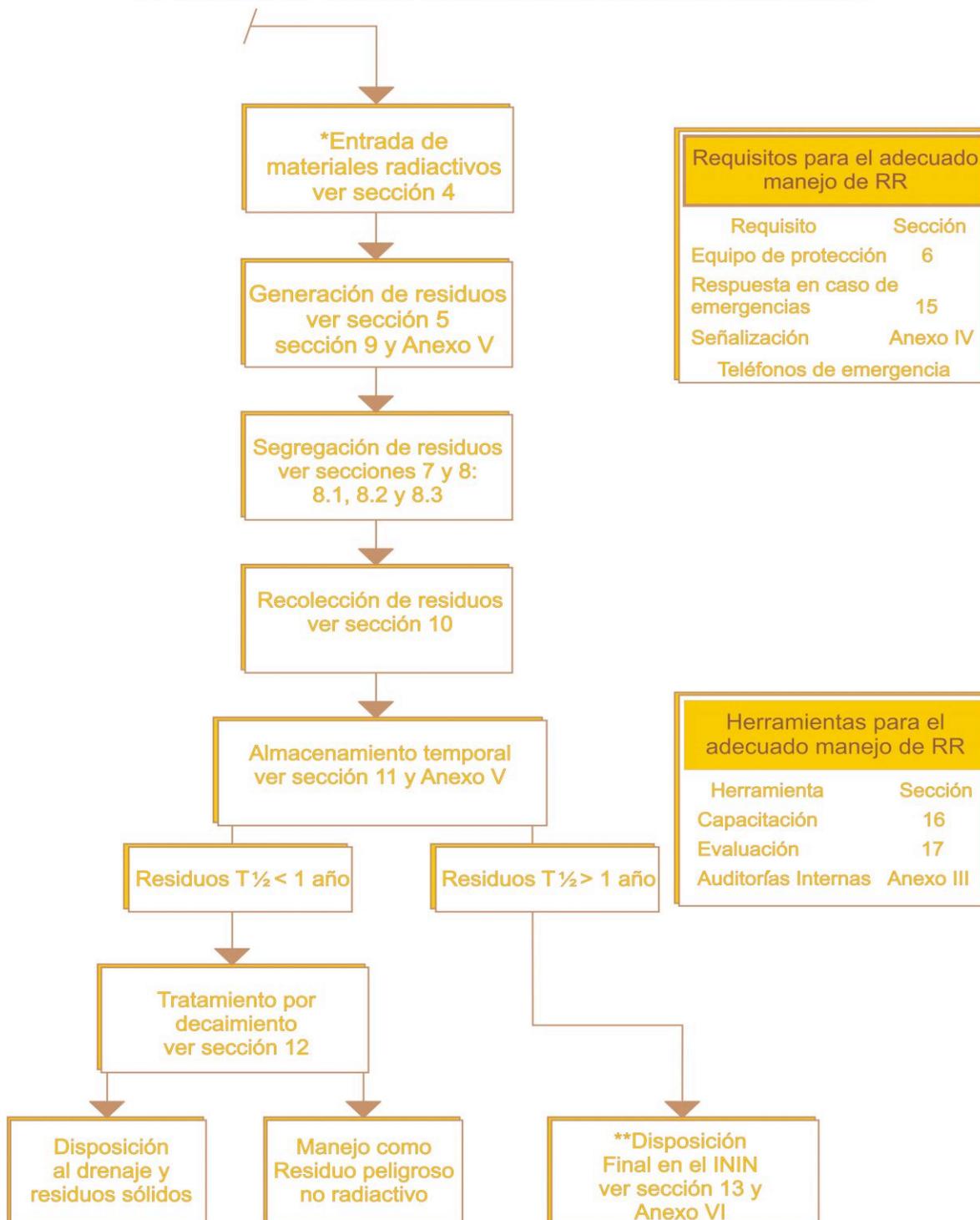


Diagrama para el manejo de Residuos Radiactivos



* Normatividad aplicable: <http://www.cnsns.gob.mx/>

** Empresas autorizadas para el almacenamiento de RR: www.inin.gob.mx

1. INTRODUCCIÓN

Este documento de referencia fue desarrollado para proporcionar los criterios para la implementación de los programas de manejo de residuos radiactivos en la Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM).

Está acompañado de un formato de autodiagnóstico sobre el manejo de los residuos radiactivos, así como de la propuesta de un programa de capacitación, con la finalidad de apoyar a los generadores de este tipo de residuos en las diversas entidades de docencia e investigación de la UNAM, para mantener un nivel óptimo de cumplimiento de los requerimientos regulatorios federales para el manejo de los mismos.

2. ALCANCES

Esta guía técnica se enfoca en los criterios para la identificación, generación, almacenamiento, transporte y disposición de residuos radiactivos generados en la UNAM. Se retoman los lineamientos básicos establecidos en el Reglamento General de Seguridad Radiológica de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS), así como los criterios establecidos en las normas oficiales mexicanas con relación al manejo de residuos radiactivos y la exposición a radiaciones del personal ocupacionalmente expuesto y dependencias involucradas.

3. FUNCIONES Y RESPONSABILIDADES EN MATERIA DE RESIDUOS RADIATIVOS

El éxito en el manejo de residuos radiactivos está supeditado a que los distintos niveles de dirección y operación, así como de toda la estructura organizativa de facultades, institutos, centros de investigación y centros de enseñanza asuman la responsabilidad.

Un manejo adecuado de los residuos radiactivos demanda la responsabilidad y acción de todos los niveles de la organización, desde la Dirección de las entidades, la Secretaría Administrativa o Secretaría Técnica, según sea el caso, hasta los investigadores, profesores, estudiantes y trabajadores que manejan materiales o equipos con fuentes radiactivas. Del conocimiento de sus obligaciones y del estricto cumplimiento de las normas con relación a dichos objetivos dependerá la disminución del riesgo, con el consiguiente beneficio para el personal ocupacionalmente expuesto y los demás miembros de la comunidad universitaria. Las funciones y responsabilidades recomendadas para el manejo de materiales y residuos peligrosos son:

3.1. DIRECCIÓN

El Director, como máxima autoridad en la estructura organizacional de institutos, centros de investigación o centros de enseñanza, es responsable de hacer cumplir los lineamientos sugeridos en esta guía, de él depende el éxito o fracaso en la implantación de lineamientos operativos y medidas para el manejo de materiales y/o residuos radiactivos. El Director será el principal impulsor de los planes y programas en la materia y girará las instrucciones necesarias para el cumplimiento de los procedimientos que permitan la gestión adecuada de residuos radiactivos, alentando que se cumplan las disposiciones legales vigentes sobre protección radiológica y manejo de residuos radiactivos.

La Dirección es la **responsable legal** de obtener la documentación necesaria para el manejo y desecho de materiales radiactivos. El Director asignará dicha responsabilidad a personal de la

Secretaría Administrativa, Secretaría Técnica u otra a su cargo para vigilar el cumplimiento de los lineamientos que ayuden al manejo de los residuos y la disminución de los riesgos.

3.2. NIVEL ADMINISTRATIVO/TÉCNICO

De acuerdo con las atribuciones de su cargo, la Secretaría Administrativa, Secretaría Técnica o la que corresponda a ese nivel en la organización, debe establecer las líneas de responsabilidad del personal a su cargo, obligándose a adoptar las medidas necesarias para hacer operativos los lineamientos legales, directivos, así como proporcionar los recursos humanos y materiales necesarios para el funcionamiento de los planes y programas de manejo de residuos radiactivos.

3.3. COORDINADOR ESPECIALISTA EN RESIDUOS RADIACTIVOS

El Coordinador es el responsable de la operación diaria del programa de manejo de residuos radiactivos, incluyendo la programación y coordinación de las actividades de recolección, almacenamiento temporal y disposición. El coordinador debe estar en continuo contacto con todos los niveles de generación y manejo de residuos radiactivos, apoyando en las tareas de supervisión en la seguridad radiológica y manteniendo una colaboración con el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para la disposición final de los residuos y su transporte fuera de las instalaciones generadoras.

Asimismo, es el responsable de las verificaciones de control en sitios de acumulación, el llenado correcto de registros, archivos e informes, verificación de las etiquetas en contenedores y control de las bitácoras de generación (ver **Anexo IV**).

3.4. SUPERVISORES DE LABORATORIO/JEFES DE DEPARTAMENTO/COORDINADORES

Los Supervisores de laboratorio/Jefes de departamento/Coordinadores de áreas son los responsables de la vigilancia y aplicación de planes y/o programa de manejo de residuos radiactivos en sus áreas respectivas. Esto incluye la operación adecuada de los puntos de acumulación de residuos radiactivos *in situ* y la capacitación del personal ocupacionalmente expuesto (POE).

3.5. INVESTIGADOR/PROFESOR TITULAR

El investigador/profesor titular es el responsable del cumplimiento de los lineamientos sugeridos en esta guía y es el encargado de dirigir al personal a su cargo, debiendo asignar funciones en cada puesto de trabajo y supervisar todas las tareas involucradas en el uso de materiales radiactivos.

Estará obligado a comunicar los movimientos del personal ocupacionalmente expuesto (altas, bajas y traslados), con la suficiente antelación que permita adoptar las medidas necesarias para su adscripción a la instalación radiactiva correspondiente, así como la adquisición, uso o desecho de equipos con fuentes radiactivas.

3.6. TÉCNICOS ACADÉMICOS/ESTUDIANTES

Es responsabilidad del personal que trabaje dentro de instalaciones donde se utilicen equipos o se generen residuos radiactivos, llevar a cabo todas las actividades en forma segura, así como dar seguimiento a los materiales y residuos radiactivos de acuerdo con los procedimientos establecidos.

Asimismo, es su responsabilidad tener los conocimientos necesarios para el manejo de residuos y renovarlos asistiendo a pláticas y cursos de capacitación.

3.7. ENCARGADO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

El Encargado de seguridad radiológica establecerá los procedimientos para el manejo y disposición de residuos radiactivos, adiestrará y capacitará al personal ocupacionalmente expuesto en el manejo de residuos radiactivos. De igual forma, establecerá los planes y programas de vigilancia y todos los mecanismos para minimizar el riesgo en el trabajo y la seguridad radiológica requerida. Por último, realizará los informes periódicos de manejo y generación de residuos radiactivos.

3.8. COMITÉ DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

En las dependencias donde se manejen materiales radiactivos deberá existir un Comité de Seguridad Radiológica que tendrá bajo su cargo la vigilancia de todo lo relacionado con la protección radiológica y manejo de materiales y residuos radiactivos. El Comité estará integrado por el Director de la dependencia, el Secretario Administrativo o Técnico, el Coordinador especialista y el Encargado de Seguridad Radiológica. El Comité de Seguridad Radiológica estará apoyado por el permisionario en todos los aspectos relacionados con la elaboración, ejecución, supervisión y modificación del Programa de Seguridad Radiológica.

4. OBLIGACIONES Y REQUISITOS EN INSTITUCIONES DE DOCENCIA E INVESTIGACIÓN

Toda dependencia universitaria que maneje fuentes radiactivas deberá contar con una licencia otorgada por la CNSNS para uso y posesión de material radiactivo con fines de investigación. Para ello se deberá entregar un informe de seguridad radiológica y el manual de procedimientos de seguridad radiológica, apegados al Reglamento General de Seguridad Radiológica (RGSR) editado por la CNSNS. Cada dependencia o institución contará con un Encargado de Seguridad Radiológica (ESR). Cabe señalar que los responsables directos ante la CNSNS son el ESR y el representante legal de la institución.

De acuerdo con lo establecido en el Reglamento General de Seguridad Radiológica (RGSR), el permisionario es la “persona física o moral que posee la titularidad de la autorización, permiso o licencia expedidos por la CNSNS para desarrollar una actividad”, por lo que también estará a cargo del manejo y disposición de los residuos radiactivos de fuentes cerradas o abiertas. A continuación se describen los aspectos más importantes del capítulo II del artículo 148 y del capítulo III del artículo 154 del RGSR, que serán incorporados en las diligencias de manejo de materiales y residuos radiactivos en las entidades generadoras.

Los requisitos que debe cumplir el encargado de seguridad radiológica se describen en el Cuadro siguiente.

Cuadro I. Requisitos del Encargado de Seguridad (Clase A y B).

- Título profesional en las áreas de físico-matemáticas o químico-biológicas debidamente registrado y cédula profesional expedida por la autoridad correspondiente.
- Certificado o constancia de aprobación de un curso avanzado de seguridad radiológica reconocido por la CNSNS.
- Constancias que demuestren experiencia (1-3 años) en materia de seguridad radiológica.
- Constancias que acrediten experiencia (6 meses - 1 año) en los aspectos de protección radiológica, relacionados con el uso que el permisionario dé a las fuentes de radiación.
- Residir en la localidad donde se ubica la instalación.
- Contar con autorización de la CNSNS respecto a su capacitación y adiestramiento.

Fuente: Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1988, Diario Oficial de la Federación, México.

Los encargados de seguridad radiológica se clasifican de acuerdo con el tipo de riesgo que puedan enfrentar y los conocimientos de seguridad radiológica con los que deben contar. Los encargados de seguridad radiológica clase A podrán serlo de una sola instalación radiactiva Tipo I-A o II-A; el encargado clase B podrá atender hasta dos instalaciones Tipo I-B o II-B; y el encargado clase C hasta tres instalaciones Tipo I-C o II-C. Las instalaciones universitarias tienen características tipo A y B, por tanto, los ESR deberán atender los requisitos para manejarlas.

Las instalaciones radiactivas se clasifican de la siguiente forma: en las de tipo I se producen, fabrican, almacenan o usan fuentes selladas o dispositivos generadores de radiación ionizante; se extrae o procesa mineral radiactivo, o bien, se tratan, acondicionan o almacenan residuos radiactivos de niveles bajo e intermedio. En las instalaciones de tipo II se producen, fabrican, almacenan o usan fuentes abiertas.

El RGSR también establece que las instalaciones tipo I-A son las de mayores riesgos con materiales de mayor intensidad de radiación y radiotoxicidad, y las II-C son las que presentarían los menores riesgos. Considerando que pueden existir residuos y materiales con muy alta, alta, moderada o baja radiotoxicidad.

Se consideran como **instalaciones Tipo I-A** aquellas que tengan instalados irradiadores en los que las fuentes salen del blindaje durante su operación o aceleradores de partículas con energías iguales o mayores a 10 MeV; minas y plantas de tratamiento de minerales radiactivos, sus presas de jales y las zonas de trabajo asociadas a ellas y los almacenes temporales o definitivos de residuos radiactivos de niveles bajo o intermedio. Están incluidas las que cuenten con equipos de radiografía industrial con equipo portátil, ya sea a base de material radiactivo o de rayos X. Asimismo, quedan comprendidos en esta clasificación los lugares donde se realicen estudios geofísicos de pozos en los que la fuente de radiación salga de su contenedor y los lugares de permanencia de pacientes con aplicaciones de braquiterapia.

Las **instalaciones Tipo I-B** son aquellas que alojan unidades de teleterapia, de braquiterapia, de rayos X con fines terapéuticos, irradiadores en los que las fuentes no salen del blindaje durante su operación o aceleradores de partículas con energías menores de 10 MeV. De igual forma, se considera en esta clasificación a las instalaciones fijas en las que se realicen trabajos de radiografía industrial, ya sea con material radiactivo o con rayos X.

Las **instalaciones Tipo I-C** son las que usan aplicadores oftálmicos, medidores de espesor, densidad o nivel, o eliminadores y medidores de electricidad estática.

Las **instalaciones tipo II-A** son aquellas en las que puedan estar presentes, más de 370 MBq (10 mCi) de radionúclidos de muy alta radiotoxicidad, más de 3.7 GBq (100 mCi) de radionúclidos de alta radiotoxicidad, más de 37 GBq (1 Ci) de radionúclidos de moderada radiotoxicidad o más de 370 GBq (10 Ci) de radionúclidos de baja radiotoxicidad.

Las **instalaciones Tipo II-B** cuentan con fuentes abiertas de hasta 370 MBq (10 mCi) de radionúclidos de muy alta radiotoxicidad, hasta 3.7 GBq (100 mCi) de radionúclidos de alta radiotoxicidad, hasta 3.7 GBq (1 Ci) de radionúclidos de moderada radiotoxicidad o hasta 370 GBq (10 Ci) de radionúclidos de baja radiotoxicidad.

Por último, las **instalaciones Tipo II-C** cuentan con fuentes de hasta 370 KBq (10 μ Ci) de radionúclidos de muy alta radiotoxicidad, hasta 3.7 MBq (100 μ Ci) de radionúclidos de alta

radiotoxicidad, hasta 37 MBq (1 mCi) de radionúclidos de moderada radiotoxicidad o hasta 370 MBq (10 mCi) de radionúclidos de baja radiotoxicidad.

Toda persona que labore dentro de las instalaciones universitarias y que con motivo de sus actividades esté expuesto a radiación ionizante, o a la incorporación de material radiactivo, debe ser considerado como personal ocupacionalmente expuesto (POE) y recibirá toda la seguridad que su actividad requiera. Para motivos de esta descripción quedan excluidos los trabajadores que ocasionalmente en el curso de su trabajo puedan estar expuestos a este tipo de radiación, siempre que el equivalente de dosis efectivo anual que reciban no exceda el límite para el público establecido en el RGSR.

El tipo de vigilancia médica que requiere el POE se encuentra establecida dentro de la **NOM-026-NUCL-2011**. Los trabajadores que manipulen los residuos radiactivos tienen el mismo riesgo que los que laboran en centros de investigación y laboratorios manipulando los materiales radiactivos, por lo que deben ser considerados en todos los esquemas de protección para evitar contaminaciones y salvaguardar su salud.

El POE debe practicarse exámenes médicos previos a la contratación para trabajar en presencia de radiaciones ionizantes, así como exámenes periódicos ulteriores para detectar la aparición de efectos no deseables. La frecuencia de los exámenes médicos para el POE ya contratado, debe ser de un año, dicha frecuencia puede aumentar a juicio del profesionista que realice la vigilancia médica, atendiendo a las condiciones laborales. La vigilancia médica debe incluir una historia clínica del trabajador que considere, como mínimo, lo establecido en los apéndices A (Pre- contratación), B (Pre-empleo) y C (POE) de la **NOM-026-NUCL-2011**. Una vez cumplidos los requerimientos, la institución médica dará su dictamen para conocer el estado de salud del personal y tomar las medidas conducentes antes de proseguir con su trabajo.

Los requisitos que debe cumplir el personal ocupacionalmente expuesto (POE) se encuentran en el Capítulo I, artículo 159 estableciendo los lineamientos mínimos para el manejo de residuos y materiales radiactivos.

Cuadro II. Requisitos del Personal Ocupacionalmente Expuesto en el manejo de materiales y residuos radiactivos

- Estar registrado ante la CNSNS.
- Ser mayor de 18 años.
- Poseer certificado de estudios.
- Contar con autorización de la Comisión respecto a su capacitación y adiestramiento.
- Contar con su autorización como Personal Ocupacionalmente Expuesto

Fuente: Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1988, Diario Oficial de la Federación, México.

En el cuadro III se enlistan las obligaciones que establece el RGSR al permisionario y al Encargado de seguridad para el manejo de fuentes radiactivas.

Cuadro III. Obligaciones del Permisionario y Encargado de Seguridad Radiológica en manejo de materiales/residuos radiactivos.

- Establecer los procedimientos de seguridad radiológica y física en la adquisición, importación, exportación, producción, posesión, uso, transferencia, transporte, almacenamiento y destino o disposición final de los materiales radiactivos y dispositivos generadores de radiación ionizante.
- Registrar ante la CNSNS al personal ocupacionalmente expuesto y a los integrantes del Comité de Seguridad Radiológica.
- Proporcionar al POE cursos-pláticas de capacitación, información, vestuario, equipo, accesorios y dispositivos de protección radiológica adecuados.
- Cumplir con los compromisos contenidos en el Informe de Seguridad Radiológica aprobado por la CNSNS con las condiciones de la licencia, permiso o autorización.
 - Contenido del Informe de Seguridad Radiológica
 - Procedimientos de las actividades realizadas
 - Normas y reglamentos aplicables
 - Relación y características del equipo y las fuentes de radiación ionizante
- Entregar informes a la CNSNS en caso de accidente radiológico.
- Notificar robo o extravío de fuentes de radiación ionizante a la CNSNS.
- Elaborar un programa para vigilar periódicamente las evaluaciones a los procedimientos de trabajo.
- Elaborar un Plan de Emergencia.
- Elaborar y distribuir un Manual de Seguridad Radiológica.
- Expedir al POE los certificados anuales y constancias al término de la relación laboral, de los equivalentes de dosis individuales recibidos en las 52 semanas anteriores y de la dosis total acumulada a la fecha. Copia de estos documentos se enviará a la CNSNS con la firma de recibido del individuo.
- Llevar registro de exámenes médicos.
- Llevar registro de toda liberación, vertimiento y destino o disposición final de materiales radiactivos.
- Elaborar un programa para vigilar que en los locales de almacenamiento de materiales y residuos radiactivos se lleven registros de entrada y salida del material.
- Elaborar un programa para verificar periódicamente el inventario de material radiactivo de acuerdo con lo señalado en el Informe de Seguridad Radiológica.
- Otorgar las facilidades (manuales, registros o documentos, las pruebas, operaciones, otros) que se requieran durante las inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos que practique la Comisión.
- Corregir las deficiencias y anomalías detectadas en las inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos.
- Proporcionar la información y documentación que requiera la CNSNS, dentro de los plazos que ésta fije al respecto.
- Firmar y rubricar toda la documentación que se remita o presente a la CNSNS.
- Cubrir gastos derivados de accidentes radiológicos.
- Notificar a la CNSNS, para su autorización de cualquier acto que implique la transmisión de propiedad y depósito de fuentes de radiación ionizante.
- Notificar a la CNSNS cuando deje de usar o poseer material radiactivo autorizado.
- Tomar todas las medidas de seguridad radiológica y física que se requieran para salvaguardar la integridad de las fuentes de radiación en caso de huelga o paro y avisar a la CSNS de dicha situación.

Fuente: Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1988, Diario Oficial de la Federación, México.

El POE quedará obligado a aplicar todos los lineamientos estipulados en el Reglamento General de Seguridad Radiológica, mismos que se reproducen en el Cuadro IV.

Cuadro IV. Obligaciones del Personal Ocupacionalmente Expuesto en el manejo de materiales y residuos radiactivos

- Conocer y aplicar correctamente los principios básicos de seguridad radiológica.
- Evitar toda exposición innecesaria a la radiación de su persona y del público.
- Cuidar y vigilar que las fuentes de radiación ionizante se encuentren en condiciones adecuadas de seguridad radiológica y física; el material y residuos radiactivos en sus contenedores y el equipo que contiene las fuentes o dispositivos generadores de radiación ionizante en posición de apagado.
- Comprobar que no esté contaminado cuando salga de la zona de trabajo.
- Conocer y aplicar correctamente las normas, instrucciones y procedimientos contenidos en el Manual de Seguridad Radiológica y Plan de Emergencia.
- Conocer el manejo y uso correcto de las fuentes de radiación ionizante, del equipo detector y medidor de radiación, de los accesorios y dispositivos de seguridad radiológica, y de los factores de blindaje, distancia y tiempo, en el grado que lo requieran sus funciones y responsabilidades.
- Portar durante la jornada de trabajo los dosímetros personales que se requieran de acuerdo con lo estipulado en el Manual de Seguridad Radiológica.
- Procurar que en el desarrollo de sus actividades se produzca la menor cantidad de desechos radiactivos.
- Conocer y aplicar correctamente los procedimientos autorizados por el encargado de seguridad radiológica para la eliminación de los desechos radiactivos.
- Enterarse de los equivalentes de dosis que ha recibido en el desempeño de sus labores.
- Someterse a la toma de muestras biológicas que se requieran para la vigilancia médica y para las pruebas de bioensayo.
- Proporcionar con veracidad los datos que le sean requeridos durante las inspecciones, auditorías, verificaciones y reconocimientos que realice la CNSNS.
- Conocer planes y programas de emergencia.

Fuente: Reglamento General de Seguridad Radiológica, 1988, Diario Oficial de la Federación, México.

El personal ocupacionalmente expuesto no debe exceder los límites de dosis anual, para lo cual la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés) recomienda un límite de dosis efectiva de 20 mSv en un año, promediado a lo largo de cinco años (100 mSv en 5 años), con el requisito adicional que la dosis no supere 50 mSv en un año.

El cumplimiento del límite de dosis efectiva ocupacional es suficiente para asegurar la ausencia de efectos determinísticos en todos los órganos y tejidos del cuerpo, excepto en el cristalino, que contribuye en forma insignificante a la dosis efectiva, y la piel, que puede estar sujeta a exposiciones localizadas. Los límites de dosis para estos tejidos están dados en términos de dosis equivalente y son 150 mSv para el cristalino y 500 mSv para la piel, promediada sobre un área de 1 cm².

Entre los residuos de fuentes abiertas más comunes en Instituciones de docencia e investigación se encuentran el ³²P, ³³P, ³H, ⁸⁶Rb, ²²Na, ³⁵S, ³⁵S, ³⁶Cl, ⁵¹Cr, ¹⁴C, ⁴⁵Ca, ¹²⁵I.

Cuadro V. Límites de dosis recomendado por el ICRP

Personal Ocupacionalmente Expuesto	Dosis
Cuerpo entero, cabeza y tronco.	100 mSv/5 años
Órganos que sintetizan componentes sanguíneos.	50 mSv/año (5 rem)
Cristalino y gónadas. Manos, antebrazos, pies y tobillos.	150 mSv (15 ram)
Extremidades del cuerpo.	500 mSv (50 ram) ¹

Fuente: ICRP-60, 1990.

¹ Valor promediado sobre cualquier superficie cutánea de 1 cm², con independencia de la superficie expuesta.

5. MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS

En instalaciones de docencia e investigación se pueden encontrar distintas fuentes cerradas y abiertas conteniendo materiales radiactivos en desuso, ya sea por su obsolescencia como por sus características y/o efectividad. Donde es determinante realizar una disposición cuidadosa, evitando riesgos y ciñéndose a lineamientos de manejo que minimicen el riesgo de su uso. Los materiales y los residuos radiactivos tienen las mismas propiedades ionizantes y deben manejarse con las mismas indicaciones. Lo más importante es conocer el radionúclido del que procedieron y la actividad que puedan tener al momento de su manipulación, por lo que es crucial no perder esta información de los usuarios originales que lo hayan manejado previamente. La mejor forma de manejar residuos radiactivos es colocar cada residuo en forma separada. En caso de juntar residuos, sólo deben colocarse con los residuos radiactivos de parecido tiempo de vida media y del mismo radionúclido, para que puedan ser almacenados únicamente el tiempo que permita el decaimiento del material radiactivo que contienen.

En el siguiente listado se encuentran los lineamientos generales a considerar en el manejo de materiales y residuos radiactivos generados en la experimentación y enseñanza de universidades.

LINEAMIENTOS GENERALES PARA EL MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS RADIATIVOS

- Todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible (principio de ALARA).
- Las mujeres en periodo de gestación o de lactancia no deberán trabajar en lugares donde exista alto riesgo de exposición a radiaciones ionizantes.
- Revisar las características de los radioisótopos desechados y elaborar material de consulta rápida que pueda ser consultado por todo el personal de la dependencia, incluyendo las recomendaciones del encargado de seguridad de la entidad y proporcionando toda la información que entreguen los proveedores del material.
- Realizar un plan de minimización del tiempo de experimentación y uso de materiales para evitar el incremento de los residuos generados.
- Instalar las barreras de protección adecuadas para cada radioisótopo en desuso.
- Conformar una bitácora del material radiactivo, su actividad (incluyendo todos los recipientes), transferencias y su disposición.
- Seguir los procedimientos seguros de disposición de los residuos radiactivos, quedando prohibido mezclar los residuos de radioisótopos generados con algún otro residuo biológico, químico o residuo sólido convencional.
- Diseñar e implantar un plan de emergencias en caso de incidente y/o accidente.
- Realizar un informe detallado por escrito, registrarlo y modificar los procedimientos, si así fuese necesario, después de un accidente.
- Restringir el acceso a personal ajeno a la zona de experimentación con isótopos radiactivos.
- Restringir el acceso a sitios donde se manipulan radionúclidos o existan equipos de radiación ionizante.
- Ubicar las zonas de experimentación en espacios bien definidos con carácter de exclusividad por periodos de tiempo largos.
- Para emisiones tipo β - en niveles del orden de μCi se deben utilizar barreras de lucita.
- Para emisores γ se deben utilizar barreras de plomo.

El sistema de control para las entradas y salidas del material radiactivo, se realizará a través de hojas de registro o bitácoras (ver ejemplo en **Anexo V**), donde se hará el descargo de los datos, que serán posteriormente utilizados en etiquetas, informes, actas de residuos de materiales,

declaración de bajas y movimiento de materiales y equipos. Estas bitácoras ayudarán a contar con registros escritos del trabajo con radiaciones ionizantes, materiales usados, actividades y la exposición a la radiación del personal en los centros de docencia e investigación.

Como mecanismo de control se hará uso de bitácoras u hojas de registro en todos los sitios donde residan materiales y equipos con radionúclidos: almacén de adquisiciones, almacén de bajas, laboratorios, almacén de residuos, área administrativa de recepción, área de salida, etcétera. A continuación se enlistan algunos datos con los que puede contar la bitácora de trabajo.

BITÁCORAS DE TRABAJO Y GENERACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

- | | |
|---|--|
| - Número de pedido al proveedor. | - Fecha de retirada. |
| - Fecha de recepción del material. | - <i>Actividad</i> original y fecha. |
| - Número de remisión de la entrega. | - <i>Actividad</i> medida o calculada en la fecha de retirada. |
| - Responsable del laboratorio. | - Tasa de dosis a contacto y a 1 metro del contenedor. |
| - Sitio de generación o uso del equipo. | - Fechas de uso del equipo o material. |
| - Dependencia a la que pertenece. | - Cantidades de material utilizado. |
| - Estado físico del residuo. | - Jornadas de trabajo. |
| - Tipo de fuente. | - Observaciones. |
| - Radioisótopo contenido. | |

Es necesario que el POE realice sus actividades con los menores riesgos posibles, siguiendo un código de conducta que permanentemente salvaguarde su salud y la de terceros, evitando la contaminación de las instalaciones o personas cercanas y comprendiendo que los mayores riesgos en el manejo de materiales o residuos radiactivos vienen de las prácticas diarias donde debemos repetir ciertos procedimientos en forma rutinaria por periodos de tiempo prolongados.

A continuación se presentan un listado de recomendaciones básicas de seguridad en el trabajo con materiales y residuos radiactivos.

RECOMENDACIONES DE SEGURIDAD EN EL MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS RADIATIVOS

- Evitar la aglomeración de equipos, materiales, residuos y personal en el laboratorio y almacenes de residuos radiactivos, se deben asignar espacios para realizar cada actividad sin obstaculizar las demás actividades y con las barreras necesarias.
- En el trabajo de laboratorio con fuentes radiactivas abiertas siempre se debe utilizar papel absorbente y mesas o superficies de trabajo con película de polietileno y charolas de contención de salpicaduras y derrames.
- No colocar alimentos y/o bebidas dentro de equipo de radiaciones ionizantes o equipos de refrigeración donde existan residuos y/o materiales radiactivos.
- Asignar, delimitar e identificar mediante letrero, etiquetas y el símbolo universal de radiactividad (ver **Anexo IV**) con la advertencia "PRECAUCIÓN MATERIAL RADIATIVO" en la puerta de acceso (zona controlada), al sitio de almacén de residuos radiactivos, sitio donde se manejen materiales o equipos que contengan isótopos radiactivos, refrigeradores con muestras marcadas, campanas de extracción, contenedores, dispositivos de transporte, bolsas y recipientes para residuos.
- Toda etiqueta de comunicación de riesgo sobre materiales radiactivos deberá retirarse al término definitivo del uso de materiales o residuos radiactivos, dichos avisos no deben utilizarse para otros fines no autorizados.

- De acuerdo con las características de cada residuo radiactivo se debe evitar la exposición innecesaria en cara, manos, antebrazos y torso, manipulando la fuente radiactiva lo más rápido posible, debiendo para ello utilizar guantes, careta, petos, placas de plomo y escudos, dependiendo del nivel de radiación.
- Todo residuo radiactivo que se volatilice o tenga presión de vapor alta debe manipularse en campanas de extracción de gases, equipadas con un filtro de carbón activado, cuyo tiro de salida se dirija a un lugar ventilado y alejado del tráfico de personas, para evitar contaminación o intoxicaciones, así como operaciones que involucren apertura del frasco de cualquier radioisótopo, debido a que se generan salpicaduras y aerosoles por la presión interna del frasco.
- En la manipulación y almacenamiento de residuos radiactivos deberán usarse dispositivos de radioprotección con blindaje apropiado.
- No se recomienda el trabajo o la manipulación de residuos radiactivos cuando se tengan heridas en las manos o antebrazos o cualquier otra parte del cuerpo que pueda quedar expuesta o contaminada.
- Tener un registro, bitácoras, formatos u hojas que confirmen la recepción, uso y desecho de material radiactivo con las concentraciones, actividades, volúmenes y pesos.
- Nunca prestar material radiactivo a otro laboratorio o dependencia sin autorización, debido a las responsabilidades que su uso o desecho conllevan.
- El POE descontaminará material de vidrio, empaques, mangueras, tubos, rotores, centrífugas, termocicladores, equipos, dispositivos y accesorios en contacto con material radiactivo.

Los residuos radiactivos se colocarán en los recipientes correspondientes dentro de cada laboratorio y con las protecciones específicas para el tipo de radiación que emitan. Deberán colocarse en los recipientes desde su generación para después ser trasladados a un almacén central, donde se hará la segregación o la acumulación de los residuos radiactivos de acuerdo con el radionúclido que contengan. Debido a que son materiales radiactivos, no existen métodos para eliminar esta condición, ya que sólo el tiempo de reacción y la emisión de partículas puede disminuir esta característica, por lo que se recomienda hacer una evaluación del tipo de residuo generado y plantear la estrategia de desecho, correspondiendo a los radionúclidos de tiempo de vida media baja ser los probables candidatos para retenerse hasta su decaimiento en las instalaciones universitarias. Después deberán revisarse otras características de peligrosidad que puedan causar riesgos en su desecho o tratamiento para disponerse definitivamente. Los residuos de radionúclidos con tiempos de vida media medios o altos deberán ser trasladados a almacenes especializados que les den un seguro confinamiento hasta su decaimiento, lo que puede significar muchos años de control y resguardo.

Es importante hacer notar que todos los procedimientos deben adecuarse al tipo de residuo que se está generando dentro de las instalaciones, esto ayudará a comprender con mayor profundidad los riesgos y finalmente aumentar la seguridad necesaria.

La información acerca de los radioisótopos descrita en esta guía, debe servir sólo como base, pues se refiere a los materiales más utilizados dentro de las entidades de investigación y docencia, considerando que los residuos generados pueden tener las mismas propiedades de peligrosidad de los radionúclidos que los constituyen.

Toda la información específica debe adecuarse a los radionúclidos utilizados, las emisiones, tasa de dosis y tipo de fuente.

A continuación se presenta un cuadro con información básica de las fuentes abiertas más comunes.

Cuadro VI. Información básica para el manejo de residuos radiactivos de fuentes abiertas.

Radioisótopo T ½ Decaimiento Energía Máxima	Penetración de radiaciones	Manejo de residuos
³ H T ½: 12.26 años Beta- 0.0186 MeV	Debido a su baja energía, el grosor del material de vidrio proporcionará suficiente blindaje. Si existe contaminación dérmica a radiaciones beta no podrán traspasar la capa de dermis superficial. Sin embargo, ³ H puede causar daño, en caso de ingestión.	Segregar los residuos de ³ H. Se puede usar el mínimo de equipo de protección personal en el manejo de ³ H pero existen riesgos de daños internos en caso de ingesta. No mezclar con otros residuos debido a su T½.
³⁵ S T ½: 87.9 días Beta- 0.167 MeV	La penetración máxima de radiaciones beta en aire es 43 cm, en plástico, 0.5 mm y en vidrio, 0.17 mm. Hay un bajo riesgo con el ³⁵ S; el material de vidrio de un frasco proporcionará suficiente blindaje. Habrá contaminación en piel con irradiaciones en 1 mCi/cm ² de 1,200 mrads/h en células de la epidermis.	Los residuos de ³⁵ S, por lo regular, se generan mezclados con disolventes volátiles, por lo que, en caso de derrame, debe utilizarse mascarilla para gases y puede emplearse carbón activado para absorber el material radiactivo. Los residuos deben segregarse individualmente y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores de 65 hasta 90 días.
³² P T ½ : 14.28 días Beta- 1.71 MeV	La penetración máxima de radiaciones beta es 518.16 en aire, en agua/tejido fino 0.85 cm, en plástico es 0.64 cm. Un derrame de 1 mCi/cm ² de piel aplicará una dosis de 9,200 mrads/h en las células epidérmicas.	Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores de 19 días. Los residuos de ³² P tienden a enlazarse con materiales ferrosos y cristal. Disoluciones de HCl (~0.1N) pueden ayudar a limpiar el material de vidrio y algunas superficies impermeables. Utilizar frascos o material de vidrio o plástico con grosor mayor a 0.70 cm.
⁵¹ Cr T ½: 27.7 días D: e- capture Rayos gamma: 0.320 MeV(9%) Rayos x: 0.005 - 0.026 MeV Auger e-: 0.005 MeV (76 %)	La tasa de exposición para ⁵¹ Cr en mCi/cm es de 180 mrad/h. Las radiaciones emitidas por este material son de riesgo, La penetración máxima de radiaciones en Pb es <0.7 cm.	Segregar residuos y disponerlos con residuos de T½ menores a 19 días y hasta 65 días.

Continuación

Radioisótopo	Penetración de radiaciones	Manejo de residuos
<p>³³P</p> <p>T ½: 25 días Beta – 0.248 MeV</p>	<p>La penetración máxima de radiaciones beta es ~48 cm en aire y en vidrio es 0.23 mm.</p>	<p>Todos los residuos con ³³P pueden contaminar, por lo que deben monitorearse el área de trabajo. Deben segregarse individualmente y pueden disponerse con materiales de T½ de 15 días y hasta 65 días.</p>
<p>¹⁴C</p> <p>T ½: 5730 años Beta- 0.156 MeV</p>	<p>La penetración máxima de radiaciones beta es ~30 cm en aire y en vidrio 0.17 mm. El riesgo es bajo, se puede trabajar en frascos de vidrio. Habrá contaminación dérmica si se presentan dosis >1,100 mrems/h para células dérmicas.</p>	<p>No existe un riesgo significativo, pero debe disponerse periódicamente y almacenarse en forma individual, no mezclar con otros residuos y tener especial cuidado con el ³H.</p>
<p>³⁶Cl</p> <p>T 1/2: 3.08 X 105 años Beta- 0.714 MeV</p>	<p>La dosis en mCi/cm, asumiendo la atenuación del aire, es de 310,000 mrad/h. En células de piel la dosis en 1 mCi/cm² es de 4,000 mrad/h. La penetración máxima de radiaciones beta es 2.04 m en aire, ~0.2 m en plástico y 0.1 m en vidrio.</p>	<p>Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores de 90 días. No mezclar con ningún residuo pero tener especial cuidado con el ³H y ¹⁴C.</p>
<p>⁴⁵Ca</p> <p>T 1/2: 163 días Beta- 0.257 MeV</p>	<p>Las dosis irradiadas por ⁴⁵Ca no significan un gran riesgo ya que las partículas beta son de poca energía, se pueden emplear guantes de goma como protección. La dosis en células dérmicas para 1 mCi/cm² es de 3,200 mrad/h. La penetración máxima de radiaciones beta es 50 cm en aire, 0.05 cm en plástico y ~0.023 cm en vidrio.</p>	<p>Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores a 90 días.</p>
<p>¹²⁵I</p> <p>T ½: 60 días D: e- capture Rayos gamma: 0.035 MeV (7 %) Rayos x: 0.031 MeV(140 %)</p>	<p>La dosis de exposición en 1 mCi/cm² es 1.5 rems/h. El grueso de Pb requerido para reducir la velocidad de exposición 10 veces (TVL) es aproximadamente 0.1 mm.</p>	<p>Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores de 19 días y hasta 65 días. Almacenar por separado.</p>

Continuación

Radioisótopo T ½ Decaimiento Energía Máxima	Penetración de radiaciones	Manejo de residuos
¹²⁵ I T ½: 60 días D: e- capture Rayos gamma: 0.035 MeV (7%) Rayos x: 0.031 MeV(140%)	La dosis de exposición en 1 mCi/cm ² es 1.5 rems/h. El grueso de Pb requerido para reducir la velocidad de exposición 10 veces (TVL) es aproximadamente 0.1 mm.	Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores de 19 días y hasta 65 días. Almacenar por separado.
⁵¹ Cr T ½: 27.7 días D: e- capture Rayos gamma: 0.320 MeV(9%) Rayos x: 0.005 - 0.026 MeV Auger e-: 0.005 MeV (76 %)	La tasa de exposición para ⁵¹ Cr en mCi/cm es de 180 mrad/h. Las radiaciones emitidas por este material son de riesgo, la penetración máxima de radiaciones en Pb es < 0.7 cm.	Segregar residuos y disponerlos con residuos de T½ menores a 19 días y hasta 65 días.
⁸⁶ Rb T ½: 18.66 días beta – Betas: 698 keV (9%); 1774 keV (91%) Rayos gamma y x: 1077 keV (9 %)	La dosis en mCi/cm es de 500 mrad/h y a 30 cm es 0.5 mrad/h. La penetración máxima de radiaciones gamma en Pb es 1.4 cm y 4.6 cm respectivamente. La dosis de radiaciones beta en 1 mCi/cm es de 310,000 mrad/h.	Usar mampara de Pb como protección en el manejo de residuos. Segregar los residuos y disponerlos con residuos de tiempos de vida media menores a 20 días. Las placas de lucita (0.5 cm) son necesarias para radiaciones beta.
²² Na T½: 2.6 años Gamma: 1.275 keV (100%) Fotones: - 511 keV (180%) Beta: 546 keV (90%)	La dosis en 1 mCi/cm es de 12,000 mrad/h y a 30 cm es 0.5 mrad/h. La penetración máxima de radiaciones gamma en Pb es 0.9 cm y un TVL de 3.6 cm.	Segregar los residuos en forma individual, utilizar mamparas o placas de plomo para contención de partículas y radiaciones.

Fuente: Universidad de Stanford, Departamento de seguridad y salud ambiental, 2007.

6. MATERIAL Y EQUIPO DE SEGURIDAD PARA EL MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS

En términos generales se puede dividir el equipo de seguridad para el manejo de materiales y residuos radiactivos de acuerdo con los radionúclidos utilizados y actividad. En términos generales los radioisótopos con radiaciones tipo γ , como las emitidas por el ^{125}I , se deben utilizar barreras de plomo, mientras que las β^- , como las emitidas por el ^3H , ^{22}Na , ^{35}S , ^{36}Cl , ^{14}C , ^{45}Ca , ^{33}P , se recomiendan barreras de lucita con algunos milímetros de espesor.

Existen materiales que tienen emisiones combinadas de tipo β^- y γ como el ^{86}Rb , así como materiales que requieren condiciones especiales debido a su alta energía como el ^{32}P (ver **Cuadro VII**). Para los equipos de fuentes cerradas en desuso y material encapsulado, lo más común es la emisión de radiaciones γ y rayos x, por lo que se recomiendan barreras, mandiles y guantes plomados, así como sitios bien controlados donde sólo ingrese el personal autorizado. Deben establecerse revisiones periódicas de detección de fugas y determinación de contaminaciones. En el siguiente cuadro se presentan los requerimientos de equipo de protección para los residuos radiactivos más utilizados en institutos, centros de enseñanza e investigación, que de acuerdo con las características de cada radionúclido se recomiendan en la prevención a radiaciones ionizantes.

Cuadro VII. Equipo de seguridad recomendado y precauciones en el manejo de residuos

Isótopo radiactivo	Equipo de seguridad recomendado
^{35}S ^{14}C ^{33}P	Bata de algodón, guantes de neopreno o nitrilo, lentes de protección, mampara acrílica o de lucita mayor a 2 cm de espesor. Utilizar papel absorbente en la superficie de trabajo, monitor portátil de radiación GM con sonda apropiada (ventana en el extremo con mica de 1.5 mg/cm^2) para registrar radiación tipo β^- de baja energía y contador de centelleo). Tener a la mano solución descontaminante para usar en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos. En la apertura de viales se deberá usar la prueba de frotis para determinar contaminación, usar campana de extracción de gases para evitar la inhalación de gases o aerosoles generados por la diferencia de presiones entre el microclima del vial y la atmósfera.
^3H , ^{45}Ca	Bata de algodón, guantes de neopreno o nitrilo, lentes de protección, no requiere mampara acrílica o de lucita. Utilizar contador de centelleo líquido para registrar emisiones β^- de muy baja energía. Tener a la mano solución descontaminante para usar en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos. En la apertura de viales se deberá usar la prueba de frotis para determinar contaminación, usar campana de extracción de gases para evitar la inhalación de gases o aerosoles generados por la diferencia de presiones entre el microclima del vial y la atmósfera.
^{32}P ^{36}Cl	Bata de algodón, guantes de neopreno o nitrilo, lentes de protección, no requiere mampara acrílica o de lucita. Utilizar papel absorbente para evitar contaminación por salpicaduras y contador de centelleo para registro de emisiones tipo β^- máx (1.7 MeV). Emplear dosímetro personal sobre la bata en la región central del tórax de muy baja energía (placa fotográfica o dosímetro termolumincente) y para determinar la dosis a extremidades se puede emplear dosimetría de anillo (TLD), tener a la mano solución descontaminante para usar en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos. En la apertura de viales se deberá usar la prueba de frotis para determinar contaminación, usar campana de extracción de gases para evitar la inhalación de gases o aerosoles generados por la diferencia de presiones entre el microclima del vial y la atmósfera.

Continuación

Isótopo radiactivo	Equipo de seguridad recomendado
¹²⁵ I ⁵¹ Cr	Usar doble guante de neopreno o nitrilo y cambiarlos metódicamente (20 min) en el tiempo de experimentación (este elemento puede traspasar el guante). Usar mampara de Pb con espesor > 0.5 cm, mandil de Pb con igual espesor (evitar contactos por salpicaduras), usar guantes de goma plomados, pinzas o fórceps en el manejo de materiales y residuos, monitor portátil de radiación GM con sonda apropiada para registrar radiación tipo γ (0.03, 0.035 MeV) o monitores de INa(Tl), emplear dosímetro personal (placa fotográfica, TLD o plumilla) y para determinar la dosis a extremidades se puede emplear dosimetría de anillo (TLD); usar solución descontaminante en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos. En la apertura de viales se deberá usar la <i>prueba de frotis</i> para determinar contaminación, usar campana de extracción de gases para evitar la inhalación de gases o aerosoles generados por la diferencia de presiones entre el microclima del vial y la atmósfera.
²² Na ⁸⁶ Rb	Usar guantes de neopreno o nitrilo, bata, lentes de protección, mampara de lucita con espesor mayor a 1 cm, monitor portátil de radiación GM con sonda apropiada para registrar radiación tipo γ (0.03, 0.035 MeV) o monitores de INa(Tl), emplear dosímetro personal (placa fotográfica, TLD o plumilla). Usar solución descontaminante en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos.
Fuentes cerradas Emisiones alfa rayos X.	Usar guantes de goma plomados, mampara de plomo o vidrio plomado, mandil de plomo (para evitar contactos por salpicaduras), pinzas o fórceps en el manejo de materiales y residuos, monitor portátil de radiación GM con sonda apropiada para registrar radiación tipo γ o monitores de INa(Tl), emplear dosímetro personal (Placa fotográfica, TLD o plumilla) y para determinar la dosis a extremidades se puede emplear dosimetría de anillo (TLD). Pruebas de hermeticidad y efectividad de barreras plomadas o de concreto y análisis médicos periódicos.

Fuente: Universidad de Nebraska-Lincoln, Depto. de seguridad y salud ambiental, 2007; Castellanos Barba C, et al., 1999

GABINETES DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

En el área de trabajo debe haber gabinetes de seguridad con material y equipo que permitan hacer frente a contingencias producidas en accidentes. Se recomienda que éstos estén distribuidos dentro de las distintas áreas donde se manejen materiales, residuos y equipos con radiaciones ionizantes en uso y desuso, y que sean de rápido acceso en caso de emergencia.

A continuación se enlistan las medidas para el establecimiento de gabinetes de seguridad radiológica.

- Los gabinetes de seguridad deben encontrarse provistos de materiales, equipos, dispositivos y equipo de seguridad necesarios para los riesgos presentes en el centro de trabajo.
- Se debe hacer un ejercicio de los posibles escenarios de emergencia para proveer a los gabinetes de todos los elementos necesarios para hacerles frente.
- Establecer un programa permanente de revisión y renovación de los elementos del gabinete.
- Establecer mecanismos de comunicación con los laboratorios, de tal manera que los gabinetes se adecuen a los cambios en el uso de materiales y equipos presentes.

- Establecer cursos de capacitación en relación con los materiales y equipos provistos en los gabinetes, para su correcto uso en caso de emergencia.
- Establecer registros de los elementos de emergencia provistos en cada gabinete para evitar robos o ubicar accidentes no registrados.

Las emergencias relacionadas con residuos radiactivos, de cualquier índole, deben ser atendidas por personal capacitado con experiencia en la materia, que serán designados por el encargado de seguridad y ser entrenados para estas actividades. El personal para emergencias debe contar con todas las herramientas físicas y los conocimientos suficientes para atender todos los aspectos que eviten o disminuyan riesgos en estas condiciones. En una emergencia todo personal que no tenga el entrenamiento necesario, los instrumentos y equipo de seguridad, debe retirarse y pedir ayuda para la intervención de los expertos.

En los gabinetes de seguridad radiológica habrá una serie de elementos mínimos para evitar la magnificación de los riesgos en caso de accidentes. A continuación se enlistan algunos elementos que se pueden incluir dentro de los gabinetes de seguridad, aunque en general, deberán ser diseñados de acuerdo con los riesgos específicos de cada entidad y área de trabajo.

1. Soluciones de descontaminación, ejemplos: rodizonato de sodio o potasio para estroncio, DTPA-Ca para cobalto, bicarbonato de sodio (1,4%) para uranio, deferoxamina o DTPA-Ca en caso de contaminación por sales de cromo o magnesio, lugol e hiposulfito para contaminaciones con yodo.
2. Papel absorbente para secado de superficies y piel.
3. Arena y toallas absorbentes para contención de derrames.
4. Equipo de protección personal, ejemplos: batas, guantes, lentes, mandiles de plomo, mascarillas para gases orgánicos, mamparas y barreras de lucita.
5. Recipientes para recogida de materiales contaminados.
6. Cintas plásticas para aislar la zona.
7. Equipos de respiración autónoma.
8. Trajes completos de protección para aislamiento total.

7. SEGREGACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Los residuos radiactivos generados por el uso de material radiactivo se deben segregar o separar en función del tipo de radionúclido o isótopo radiactivo presente y de su estado físico, ya sea líquido o sólido. Esta segregación se lleva cabo desde su origen de generación, o sea, desde el laboratorio donde se usó el material radiactivo. En las secciones 8.2, 8.3 y 12 se pueden encontrar mayores elementos para la segregación de los residuos radiactivos, especificándose recomendaciones para los residuos radiactivos sólidos, líquidos, así como la forma de calcular la actividad del radionúclido que le da la característica de radiactividad al residuo que se está manejando.

Los recipientes para la segregación, recolección o almacenamiento de los residuos radiactivos deben garantizar la integridad física del material, así como la resistencia de los productos que contendrán.

Los residuos líquidos pueden contener otras características de peligrosidad además de su contenido de radioisótopos ya sea por el uso de material biológico o químico, como también de los líquidos de lavado y descontaminación de áreas. Por lo que respecta a los residuos sólidos, están formados por material desechable y dispositivos inservibles o en desuso de laboratorios contaminados.

El uso de material desechable en contacto con sustancias radiactivas, tales como guantes, puntas de pipetas, papel absorbente, vasos de precipitado, cofias, y otros contenedores se consideran como materiales radiactivos. Por último, el desecho de fuentes cerradas con material radiactivo encapsulado que perdió total o parcialmente su actividad y que ya no tiene las características necesarias en los equipos, también se puede considerar como un residuo radiactivo.

Para una adecuada gestión de estos residuos radiactivos, además de clasificarse en función de la forma física (líquida y sólida), hay que tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Propiedades químicas, como su solubilidad, volatilidad, presión de vapor, visibilidad, compatibilidad, entre otros para que los recipientes utilizados resguarden y contengan en forma efectiva al residuo.
- Revisar características de peligrosidad como su corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad e inflamabilidad, de tal manera que se tomen las medidas de seguridad necesarias y particulares de cada residuo.
- Carga biológica, para conocer los posibles riesgos presentes.
- Radionúclido o mezcla de radionúclidos y actividad.

En la siguiente sección se refuerzan aspectos de la segregación en las áreas de laboratorio.

8. MEDIDAS PARA LA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS EN EL LABORATORIO

Existen ciertas medidas que deben realizarse tanto dentro de los laboratorios (que generan residuos radiactivos y utilizan equipos de radiaciones ionizantes con fuentes cerradas o abiertas), como dentro de los sitios de acondicionamiento de residuos y almacenamiento. Estas medidas ayudarán a la mejor disposición de los residuos y al aseguramiento en su manejo hasta su salida de las instalaciones. A continuación se presenta una lista de recomendaciones para la disposición y manejo de residuos en institutos, centros de enseñanza e investigación. En la **sección 13** se encuentran las recomendaciones para fuentes cerradas, en este apartado se hacen las recomendaciones exclusivamente para fuentes abiertas.

RECOMENDACIONES GENERALES PARA DISPOSICIÓN DE RESIDUOS

- Deben segregarse los residuos de acuerdo con el isótopo radiactivo de procedencia. Por ningún motivo, los residuos radiactivos generados se mezclarán dentro de bolsas o recipientes.
- En las áreas de trabajo y aplicación del material radiactivo deben distribuirse contenedores exclusivos para la recolección de los residuos. Es recomendable que dichos contenedores tengan un sistema para abrirse utilizando el pie.
- Se prohíbe disponer residuos radiactivos ya sea por tarjas, alcantarillado, sistema de disposición de residuos sólidos (basura).
- Nunca regresar líquidos o sólidos con radionúclidos al envase original, una vez que han sido extraídos y utilizados, los remanentes deberán tratarse como residuos radiactivos en dispositivos especiales bien etiquetados.
- Colocar los recipientes de residuos radiactivos líquidos en contenedores de lucita o barreras de plomo, según sea el caso hasta su recolección (mantener cerrado).
- Nunca desprender las fuentes cerradas de los equipos que las contengan, ni extraerlas de cápsulas o recubrimientos de fábrica.
- Los equipos y fuentes cerradas en desuso deben mantenerse en un sitio de almacenaje seguro y controlado hasta su retiro y disposición por una empresa autorizada por la CNSNS.

- Usar bitácoras para registrar el uso de material radiactivo y calcular la actividad final de los residuos generados.
- La recolección y retiro de los residuos radiactivos almacenados en cada laboratorio puede ser realizada por un prestador del servicio autorizado y mediante contrato, por ejemplo, el departamento de recolección, clasificación, segregación y tratamiento del residuo radiactivo del Instituto Nacional de Investigaciones (ININ) o bien por personal capacitado y autorizado por la CNSNS del mismo centro de trabajo que, preferentemente, ayude exclusivamente en las actividades de gestión de residuos radiactivos.
- Utilice frascos herméticos, **NO ENVASES DE VIDRIO NI ENVASES METÁLICOS**, con etiquetas de comunicación de riesgo que establezcan claramente el radionúclido que se está almacenando y la actividad del mismo, así como la fecha de almacenamiento de los residuos radiactivos.
- No almacenar el residuo radiactivo en el laboratorio, sólo se podrá contar con un sitio de depósito de cantidades pequeñas, mismas que deberán ser trasladadas a un sitio especial para su almacenamiento seguro con tiempos programados.
- Empacar adecuadamente los sólidos contaminados (bultos) en bolsas de plástico gruesas y envasar el líquido con el residuo radiactivo dentro de botellas o recipientes herméticos –de base ancha– de plástico resistente, ambos etiquetados e identificados.
- Dentro de las instalaciones, sólo POE podrá trasladar y transportar el residuo radiactivo, en un contenedor portátil o carro transportador al almacén temporal con el equipo de protección sugerido en esta guía, de acuerdo con cada radionúclido transportado y con el detector correspondiente.
- La disposición final de residuos radiactivos y confinamiento definitivo se realizará en sitios vigilados y supervisados por la CNSNS.
- Los paquetes (bultos) y recipientes deben almacenarse en forma temporal en un sitio asignado especialmente y localizado en las instalaciones del centro de trabajo, accesible al POE, señalado, alejado de otras actividades y cerrado con llave.

8.1. RESIDUOS LÍQUIDOS (FUENTES ABIERTAS)

Los residuos radiactivos líquidos deben separarse en dos vertientes principales: residuos acuosos y residuos orgánicos, debido a que su disposición y manejo serán distintos debido a su conformación química.

Se consideran **residuos radiactivos acuosos** todos aquellos que contienen radioisótopos disueltos o dispersos en agua y que, por lo tanto, al término de la actividad del material radiactivo no requieren otro tratamiento. Los **residuos radiactivos orgánicos** son aquellos residuos de materiales radiactivos que se encuentran disueltos o dispersos en un disolvente orgánico tal como tolueno, xileno, cloroformo, etcétera, y que al término de la actividad del material radiactivo tienen que manejarse como residuos químicos con sus riesgos inherentes. Estos residuos orgánicos deben almacenarse y manejarse en forma separada, estableciéndose una segregación de acuerdo con su estado físico y propiedades químicas en recipientes especiales que resistan la acción de líquido dispersante.

Se recomienda considerar como un residuo radiactivo líquido a:

- a) Todos aquellos residuos que contengan radioisótopos que presenten lecturas de niveles de radiación a contacto mayores a las del fondo natural existente en los alrededores de la instalación.
- b) Los residuos líquidos contaminados con radionúclidos emisores alfa y radionúclidos emisores beta con energías menores a 1 MeV.

RECOMENDACIONES PARA LA SEGREGACIÓN DE RESIDUOS LÍQUIDOS

- Los residuos radiactivos líquidos deben ser segregados en el punto de origen (en forma individual) como líquidos acuosos y orgánicos (aceites, disolventes, líquidos de centelleo).
- NO deben mezclarse los distintos residuos generados, por ejemplo soluciones ácidas con alcalinas, orgánicas con acuosas, aceites con líquidos de centelleo, entre otros.
- Los recipientes de residuos radiactivos líquidos sólo deben llenarse al 80% de su capacidad.
- Los líquidos que contengan radionúclidos de $T_{1/2} > 1$ año deben colocarse en contenedores exclusivos y en forma separada a los demás residuos radiactivos.
- Las soluciones con ^{14}C , ^3H y emisores β deben segregarse en recipientes por separado y de forma exclusiva.
- En las áreas de trabajo deben distribuirse recipientes, debidamente etiquetados e identificados, para recolectar cada uno de los tipos de líquidos señalados.
- El material del recipiente no debe reaccionar con el líquido.
- Los recipientes deben estar rotulados con el símbolo internacional de radiación ionizante (ver **Anexo IV**), indicando el tipo de líquido dispersante.

Todos los recipientes para residuos líquidos (orgánicos y acuosos) deben resistir mecánicamente en caso de caídas accidentales o al someterse a presiones causadas por el material radiactivo presente. El recipiente deber asegurar el residuo hasta su sitio de disposición final. Los recipientes para residuos líquidos deben ser:

- a) Exclusivos para contener residuos radiactivos.
- b) Contenedores de un máximo de capacidad de 25 litros.
- c) Etiquetados con información básica.
- d) Exclusivos para contener líquidos orgánicos o para líquidos acuosos.
- e) Resistentes a líquidos orgánicos, ácidos o bases (de forma general se recomiendan recipientes de polietileno de alta densidad, aunque ningún material es infalible, por lo que deben revisarse las características de cada líquido).
- f) De base ancha, boquilla angosta y tapa de rosca.
- g) Resistir mecánicamente.
- h) Almacenarse dentro de barreras para contención de las radiaciones.

Figura 1. Ejemplo de contenedores recomendados para la retención de los residuos radiactivos.



Imagen de catálogo - Lab Plus, 2012

8.2. RESIDUOS SÓLIDOS (FUENTES ABIERTAS)

Los residuos radiactivos sólidos deben almacenarse en bolsas especiales (calibre 500, mínimo) con el símbolo de radiactividad grabado (ver **Anexo IV**) y etiquetas especiales con toda la información posible en caso de necesitar su desclasificación o evacuación, para identificar rápida y fácilmente el tipo de residuos presente y los riesgos que conlleva.

De acuerdo con la **NOM-028-NUCL-2009** que se refiere al manejo de desechos radiactivos en instalaciones radiactivas que utilizan fuentes abiertas, se debe considerar un residuo radiactivo sólido a:

- a) Todos aquellos residuos que contengan radioisótopos que presenten lecturas de niveles de radiación a contacto mayores a las del fondo natural existente en los alrededores de la instalación.
- b) Los residuos sólidos contaminados con radionúclidos emisores alfa y radionúclidos emisores beta con energías menores a 1 MeV.

Figura 2. Ejemplo de bolsas para residuos radiactivos.



Imagen de catálogo - Engineering & Design Plastics

A continuación se enlistan las recomendaciones para la segregación de los residuos radiactivos sólidos y las formas de acondicionamiento necesarias antes de su almacenaje temporal o final.

RECOMENDACIONES PARA LA SEGREGACIÓN DE RESIDUOS SÓLIDOS

- Todos los residuos sólidos generados deben colocarse en bolsas de plástico transparente con franjas amarillas y con el símbolo de radiactividad (ver **Anexo IV**). Debe ser plástico biodegradable con un calibre mínimo de 500. Después etiquetarse y almacenarse dentro de barreras para contención de las radiaciones emitidas.
- Los residuos radiactivos sólidos que contengan radionúclidos de $T_{1/2} < 1$ año, deben segregarse con residuos de $T_{1/2}$ similares y colocarse en contenedores exclusivos, para facilitar su tratamiento por decaimiento y su posterior liberación como residuos sólidos.
- Los residuos radiactivos sólidos con radionúclidos de $T_{1/2} > 1$ año deben colocarse en contenedores exclusivos y por separado de los demás residuos para su envío a un sitio autorizado por la CNSNS.

- Los residuos de ^{14}C , ^3H y emisores β , deben segregarse y colocarse en contenedores por separado y de forma exclusiva.
- Los residuos en polvo deben colocarse en bolsas transparentes pequeñas de calibre 500 y, posteriormente, colocarse en recipientes rígidos exclusivos para cada residuo sólido generado.
- Si las bolsas de residuos radiactivos llegan al 80% de capacidad o dejan de usarse se enviarán al almacén.
- El material punzocortante como jeringas, agujas, pipetas y navajas deberán colocarse en el interior de contenedores de plástico resistente (prueba: que no puedan atravesarse por una aguja hipodérmica).
- Los cadáveres de animales que estén contaminados con material radiactivo deben depositarse en bolsas de plástico calibre 500 y, posteriormente, en recipientes plásticos, añadiéndose sustancias que eviten su descomposición, tales como formaldehído, alcohol o cal viva, previo a su envío al almacén, refrigerar a menos de 5°C hasta su disposición final.

8.3. FUENTES CERRADAS

Las fuentes cerradas desechadas deben resguardarse en contenedores especiales elaborados con materiales específicos y con el grosor suficiente para la contención de los tipos de radiaciones que se emiten. Los residuos de fuentes cerradas no se deben extraer de su cápsula o recubrimiento original, ni del equipo o dispositivo donde se encuentran.

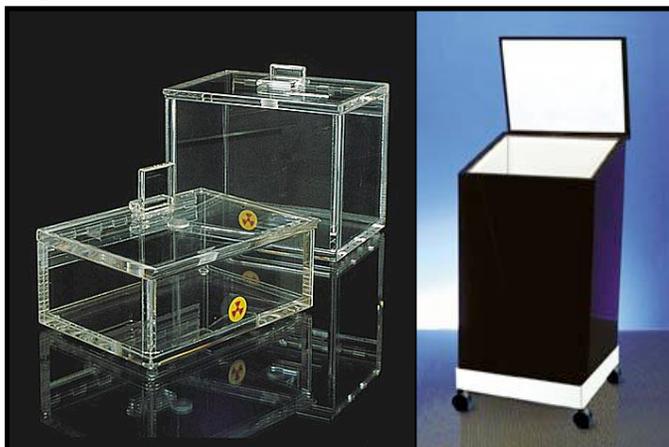
En general, estas cápsulas deben resguardarse en recipientes que permitan su protección física y que contengan las radiaciones emitidas. Por lo general se deben utilizar contenedores de acrílico, lucita o plexiglas para emisiones β y contenedores de plomo para emisiones γ .

Cabe señalar que debe utilizarse la información técnica proporcionada por el fabricante o proveedor debido a que cada equipo y fuente cerrada tendrá especificaciones que podrán contemplarse en la medida de contar con dicha información.

RECOMENDACIONES PARA DISPOSICIÓN DE FUENTES CERRADAS

- No debe extraerse el radioisótopo de su cápsula o recubrimiento original.
- Deben permanecer en el equipo o aparato original.
- Los residuos con emisiones γ deben almacenarse en forma especial para limitar la exposición de estas radiaciones a otras fuentes almacenadas.
- La radiación a 30-40 cm no debe exceder de 100 mR/h.
- Deben monitorearse con periodicidad.
- Programar pruebas de hermeticidad de las cápsulas o recubrimientos.
- Deben notificarse su desecho y disposición final a la CNSNS.

Figura 3. Dispositivos para aislamiento de radiaciones β y γ .



Imágenes de catálogo - Lab Safety Supply / Dyna Lab Corp., 2012

9. ETIQUETADO DE RESIDUOS RADIATIVOS

Las etiquetas de identificación se utilizan como un requisito indispensable de seguridad en el manejo y almacenamiento de residuos radiactivos. Cualquier material con una identificación incompleta o inadecuada puede provocar accidentes en su manejo, almacenamiento y acondicionamiento. En caso de confusión en los registros, la etiqueta en el residuo mismo será la forma más sencilla de identificación y comunicación del riesgo.

Las etiquetas de residuos radiactivos deben contener la información básica enlistada a continuación, misma que permitirá la identificación rápida y directa del paquete o contenedor donde se encuentra el residuo, independientemente de otros registros.

RECOMENDACIONES EN LA INFORMACIÓN PARA EL ETIQUETADO

- **Responsable del laboratorio.** Colocar nombre del académico titular de la investigación o actividad docente, quien es el responsable directo del residuo.
- **Sitio de generación.** Identificar el laboratorio generador, sitio de procedencia.
- **Dependencia.** La dependencia o institución, que, en términos legales, es responsable del residuo generado.
- **Estado del residuo.** Debe existir información sobre el estado físico del residuo, si se encuentra en forma sólida o líquida, si es un residuo acuoso u orgánico, entre otros.
- **Tipo de fuente.** Debe manifestarse si se trata de una fuente cerrada o abierta, ya que de esto dependerá la forma de manejarse y su disposición final.
- **Radioisótopo contenido.** Éste es uno de los datos más importantes para su segregación adecuada.
- **Fecha de retirada.** La información sobre la fecha de retirada del residuo del laboratorio ayudará a constatar el estado de desintegración del radioisótopo contenido en el residuo.
- **Actividad original y fecha.** Es importante colocar información de la actividad original y fecha de adquisición del material radiactivo, ya que esto ayudará a corroborar el estado del residuo y su actividad en la actualidad.
- **Actividad medida o calculada en la fecha de retirada.** Se debe colocar información actualizada del estado de desintegración del residuo y la actividad del residuo lo que ayudará a conocer el riesgo por exposición a las radiaciones emitidas.
- **Tasa de dosis a contacto y a 1 metro del contenedor.** Información acerca del riesgo del residuo.
- **Otras características de peligrosidad del residuo.** Ésta siempre será crucial en el manejo, tratamiento y disposición del residuo generado.

A continuación se presenta una etiqueta como propuesta para la identificación de los residuos, con la información básica descrita anteriormente y en la forma sugerida para la comunicación del riesgo del residuo generado, así como los datos básicos necesarios en su manejo fuera de las instalaciones o en el almacén temporal.

Figura 4. Propuesta de etiquetas para el manejo de residuos radiactivos en la UNAM (Facultad de Química).

Fuente: Elaboración propia

10. RECOLECCIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

El trabajo previo de segregación de radioisótopos, envasado y etiquetado son los requerimientos determinantes en el manejo de residuos. El uso de recipientes y bolsas adecuadas permite cumplir con los criterios y reglamentos normativos. Cada institución debe manejar sus residuos radiactivos de la manera que su estructura y presupuesto se los permita, sin embargo se recomienda que existan recolectas internas de residuos radiactivos de forma controlada.

Es recomendable realizar un estudio de generación de residuos que permita conocer la frecuencia en la generación de residuos, las cantidades, volúmenes, actividades y tipos de residuos, lo cual permitirá establecer los calendarios de recolecta, las rutas más seguras y las medidas de protección radiológica.

El estudio de generación debe realizarse por conducto de los responsables del manejo de los residuos o el encargado de seguridad radiológica.

Después del estudio de generación de residuos radiactivos al interior de la institución, quedarán sentadas las bases para realizar recolecciones internas periódicas que permitan el desalojo de residuos radiactivos de las zonas de trabajo, evitando riesgos innecesarios en concordancia al principio ALARA. Las ventajas en la recolección interna y sistemática de residuos radiactivos son:

- a) Asegura que los residuos serán llevados al sitio de disposición (almacén para desclasificación¹ o empresa autorizada para su disposición final).

¹ Desclasificación: Un residuo puede considerarse no radiactivo cuando el material que le da esta característica termina su actividad o cuando llega a niveles permisibles de acuerdo con la normatividad vigente.

- b) Evita el traslado de material radiactivo por personal no capacitado.²
- c) Evita desvíos de residuos a otras áreas.
- d) Asegura que los residuos sean manejados y trasladados en las mejores condiciones de seguridad.
- e) Controla la información necesaria para su disposición o desclasificación.

RECOMENDACIONES EN LA RECOLECCIÓN

Laboratorios generadores

- Los laboratorios generadores conformarán un preregistro de residuos, de tal manera que el encargado de la recolecta tome las medidas de seguridad pertinentes.
- Se encargarán de manejar y disponer los residuos en recipientes y bolsas especiales, segregarlos y etiquetarlos correctamente.

Encargado de la recolección de residuos

- Se basará en los pre-registros para establecer las medidas de radioprotección pertinentes.
- Hará la recolección de los residuos radiactivos apegándose a la ruta de recolección diseñada.
- Sólo hará la recolección si cuenta con el equipo de protección y los carros de transporte interno, de acuerdo con los residuos radiactivos establecidos en los preregistros.
- Sólo recibirá los residuos si se encuentran en los recipientes o bolsas y con las etiquetas adecuadas con toda la información requerida, de no ser así, tendrá la obligación de instruir la forma de manejo de los residuos.
- Levantará un acta de registro de los laboratorios generadores de residuos radiactivos.
- En caso de algún incidente en la entrega de residuos que no permita su recolección se tendrá que hacer un informe pormenorizado de la situación que se turnará al nivel de autoridad pertinente y al encargado de seguridad.
- En caso de accidente, el encargado de la recolecta también hará un informe de la situación que se reportará al nivel de autoridad pertinente y al encargado de seguridad, para la toma de medidas y cambio de procedimientos, además guardará esta información como registro histórico.
- De rebasar la capacidad de transporte llevará la carga al almacén y después proseguirá la recolecta. Por ningún motivo sobrecargará el transporte con residuos radiactivos.

El carro de transporte interno de residuos radiactivos deberá tener un sistema para mantenerse cerrado, para evitar que los residuos se caigan una vez colocados en su interior. Debe ser resistente a disolventes orgánicos como el hexano o metanol, se recomienda adquirir carros contruidos de polietileno de alta densidad.

El carro recolector de residuos radiactivos debe contar con su etiqueta de comunicación de riesgo radiactivo. Se recomienda que el carro contenga barreras o cajas intercambiables de plomo, vidrio plomado o lucita, según el caso requerido.

² Personal Ocupacionalmente Expuesto con todos los requerimientos que las leyes mexicanas precisan deberá realizar la recolección.

Figura 5. Ejemplo de carro de recolección interna



Imágenes de catálogo - Lab Safety Supply, 2012

11. ALMACÉN TEMPORAL DE RESIDUOS RADIATIVOS

Se debe contar con un sitio donde se resguarden las fuentes abiertas y destinarse otro espacio donde se controlen los equipos y fuentes radiactivas cerradas. Esta sección se refiere al almacén de residuos con fuentes abiertas. Se contará con un almacén donde se acondicionen los residuos antes de su transporte a la empresa autorizada. Este sitio permitirá controlar los residuos generados, registrar las cantidades y actividades resultantes del uso de las fuentes radiactivas.

En el almacén de fuentes abiertas deben asignarse dos secciones principales, una sección para residuos de $T_{1/2} > 1$ año y otra con los residuos de $T_{1/2} < 1$ año. El almacén debe contar con equipo de protección para resguardar la integridad del personal que ingrese y las barreras de contención de radiaciones de acuerdo con los radioisótopos manipulados.

Es importante mencionar que toda persona que ingrese o labore en el almacén de residuos radiactivos deberá seguir las reglas generales y particulares para materiales radiactivos que se establecieron anteriormente. A continuación se enlistan las medidas básicas en el diseño e implantación de un almacén que pueda controlar la transferencia de residuos de $T_{1/2} > 1$ año y el tratamiento por decaimiento de residuos con $T_{1/2} < 1$ año.

RECOMENDACIONES PARA EL ALMACÉN DE RESIDUOS RADIATIVOS

Almacén

- Contar con rutas de acceso que permitan el transporte de los residuos radiactivos con un riesgo mínimo.
- No contar con drenaje, para no permitir una vía de desalojo indeseado en caso de derrame.
- Encontrarse siempre cerrado con llave y acceso controlado.
- Contar con barreras de contención de radiaciones para el POE que labore en el acondicionamiento y almacenado de residuos radiactivos.
- Contar con una ruta de salida en caso de emergencia.
- Ubicarse lejos (por lo menos 10 metros) de otras instalaciones o actividades presentes o futuras que puedan adversamente impactar en la capacidad del sitio.

- Contar con el equipo de protección personal, dosímetros para el personal involucrado y estar provisto de etiquetas, bolsas, contenedores y equipo de almacenamiento.
- Contar con registros de entrada y salida de residuos.
- Contar con un sistema de extracción de gases con filtros de adsorción de carbón activado para atrapar los radioisótopos desprendidos.
- Estar bien iluminado con sistemas eléctricos anti-chispa debido a la presencia de líquidos orgánicos inflamables y volátiles.

Residuos dentro del almacén

- Los residuos se deben separar por residuos de $T_{1/2} > 1$ año y residuos con $T_{1/2} < 1$ año.
- Los residuos con $T_{1/2} < 1$ año se colocarán en anaqueles de confinamiento temporal hasta su decaimiento.
- Los residuos con $T_{1/2} < 1$ año deberán seguir los criterios de tratamiento por decaimiento.
- Todo residuo que se someta a tratamiento por decaimiento debe etiquetarse con la información de desclasificación, fecha de entrada al almacén y fecha de decaimiento.
- Los residuos con $T_{1/2} > 1$ año se colocarán en anaqueles para su traslado en los tiempos establecidos en un programa de recogidas preestablecido anualmente con el ININ.
- Deberán colocarse barreras de lucita o plomo según el material que se almacena.
- Todas las superficies donde se coloquen los residuos para su confinamiento temporal deberán contar con un recubrimiento de papel absorbente.
- Todos los residuos radiactivos líquidos deberán colocarse dentro de charolas con un sólido absorbente mezclado con carbón activado.
- Si se colocan residuos inflamables, no debe excederse de un volumen de 100 litros; los niveles de actividad contenida en los residuos almacenados no deben ser mayores a 10 veces el valor del Límite Anual de Incorporación para el radionúclido particular o para el radionúclido de vida media mayor, en caso de mezclas.

Cada recipiente contará con una etiqueta de ingreso al almacén que permita su control, tiempo de permanencia en confinamiento y destino final.

En el ingreso al almacén se tendrá que separar cada residuo por su tiempo de vida media y, posteriormente, se llevará un control del tiempo de estancia en el almacén. Una etiqueta de control interno puede ser un método sencillo en el manejo del residuo, que permitirá discriminarlos y ayudará a conocer su destino, estado físico, tiempo de permanencia, medidas de protección y sitio de almacenaje desde el momento de su entrada al almacén. Es importante señalar que la CNSNS exige (dentro de su normatividad vigente) contar con controles estrictos de todos los radionúclidos que ingresan, su decaimiento y su actividad, recordando que los materiales radiactivos tienen un constante cambio debido a la emisión permanente de partículas, lo que hacen necesario su control y actualización. Es por esto que se recomienda el uso de etiquetas nuevas dentro del almacén que ayuden a su control y la evaluación de la actividad a la entrada, estancia y salida de residuos del almacén.

Figura 6. Propuesta de etiquetas para almacenamiento de residuos radiactivos en la UNAM.

Universidad Nacional Autónoma de México

Dependencia
RESIDUOS RADIATIVOS

FECHA DE RETIRO DEL SITIO DE GENERACIÓN FECHA DE SALIDA DEL ALMACÉN

ISÓTOPO _____ COMPUESTO _____

Tipo de residuo
 $T_{1/2} < 1$ año $T_{1/2} > 1$ año Tiempo de decaimiento _____

Tasa de dosis al contacto mR/h cGy/h Tasa de dosis a un metro mR/h cGy/h

Cálculo estimado Actividad desechada _____ μ Ci paquete _____ μ Ci frasco
 Concentración extraída del frasco original _____ $\frac{\mu\text{Ci}}{\mu \text{ litros totales}}$

Observaciones _____

Fuente: Elaboración propia

12. CRITERIOS DE TRATAMIENTO POR DECAIMIENTO DE RESIDUOS RADIATIVOS DE FUENTES ABIERTAS

La Norma Oficial Mexicana **NOM-028-NUCL-2009**, titulada *Manejo de desechos radiactivos en instalaciones radiactivas que utilizan fuentes abiertas*, estipula los criterios para el tratamiento de residuos sólidos de fuentes abiertas que se generen dentro de las instituciones. En su artículo 6.2.5 señala que “Los residuos radiactivos sólidos que contengan radionúclidos de vida media menor a un año, deben segregarse por vidas medias similares y colocarse en contenedores exclusivos, para facilitar su tratamiento por decaimiento y su posterior liberación como basura común”. Lo anterior establece la pauta para el tratamiento por decaimiento de los residuos radiactivos, siempre con autorización de la CNSNS. Tomando como base los residuos más comunes utilizados en instituciones de docencia e investigación, se dividieron los residuos de acuerdo con su tiempo de vida media ($T_{1/2}$); menores a un año y los mayores a un año.

Las estrategias para la segregación de residuos radiactivos pueden variar según cada institución debido a la diferencia en los radioisótopos utilizados, las *actividades* de cada residuo, los recursos con que se cuenten y la estructura de la organización; lo que determinará su disposición final y la forma de manejo, tratamiento y por supuesto segregación. Aunque para todo residuo radiactivo generado se deben seguir los principios generales que se describen a continuación:

1. Minimizar la generación de residuos (directamente relacionada con el uso de materiales en el laboratorio).
2. Mantener los residuos radiactivos alejados de los residuos NO radiactivos.
3. En la medida de lo posible mantener los radioisótopos separados, sin mezclar.
4. Separar residuos radiactivos líquidos y sólidos.
5. Separar los residuos radiactivos de alta, media y baja actividad.
6. Separar los residuos radiactivos con otras características de peligrosidad.
7. Separar los residuos orgánicos y acuosos.

A continuación se presenta un listado de criterios recomendados para considerar a un residuo sólido como no radiactivo.

RECOMENDACIONES PARA CONSIDERAR A UN RESIDUO SÓLIDO COMO NO RADIATIVO (NOM-035-NUCL-2000)

- Los que contengan un sólo radionúclido con concentraciones de actividad (Bq/g) o contaminación superficial fija (Bq/cm²) en éstos, menores o iguales al nivel de dispensa incondicional establecido en la **Tabla 5 (NOM-035-NUCL-2000)**.
- Los que contengan una mezcla de radionúclidos donde la suma de sus fracciones sean menores a 1.0, de acuerdo con la siguiente ecuación.
- Suma de las fracciones:

$$\sum_{i=1}^n \frac{C_i}{C_{l,i}} < 1$$

Donde:

- C_i = Concentración (Bq/g, o Bq/cm²) del i-ésimo radionúclido en la mezcla.
- $C_{l,i}$ = Concentración límite del i-ésimo radionúclido de la mezcla, de acuerdo con la segunda columna de la **Tabla 5**.

- Los que contengan radionúclidos no considerados en la **Tabla 5 (NOM-035-NUCL-2000)**, pero sólo con la autorización de la CNSNS.
- En caso de no poder cumplir con los criterios anteriores se debe justificar y presentar la información necesaria ante la CNSNS, de tal manera que el residuo cumpla con:
 - El equivalente de dosis efectiva, resultante de la práctica para cualquier persona del público, no será superior a 10 Sv/año.
 - El equivalente de dosis efectiva colectiva, originada por un año de práctica, no será superior a 1 Sv/persona.

Tabla 4. Ejemplo en la forma de segregación y gestión de residuos radiactivos (NOM-035-NUCL-2000).

Residuo	Tiempo de vida media	Intervalo	Gestión
³ H ¹⁴ C ³⁶ Cl ⁸⁶ Na	12.26 años 5730 años 3.08X10 ⁵ años 2.6 años	T _{1/2} < 1 año	Acondicionar y gestionar su traslado y confinamiento a un centro autorizado por la CNSNS
³⁵ S ³² P ³³ P ⁴⁵ Ca ¹²⁵ I ⁵¹ Cr ⁸⁶ Rb	87.9 días 14.28 días 25 días 163 días 60 días 27.7 días 18.66 días	T _{1/2} > 1 año	Confinamiento dentro de almacén acondicionado en la institución con medidas de radioprotección y acceso controlado. Tratamiento por decaimiento de residuos hasta lecturas de niveles de radiación a contacto mayores a las del fondo natural existente en los alrededores de las instalaciones.

Como quedó establecido con anterioridad, se recomienda que los residuos líquidos generados deben segregarse de acuerdo con el tiempo de vida media ($T_{1/2}$). Los residuos de $T_{1/2} > 1$ año se deben almacenar y enviar lo antes posible, de acuerdo con el calendario de recogidas acordado previamente con la empresa autorizada por la CNSNS, mientras que los residuos líquidos de $T_{1/2} < 1$ año deben etiquetarse para saber su tiempo de ingreso al almacén y su tiempo de decaimiento, y retenerse en el almacén hasta que sus niveles de radiación se equiparen con los niveles ambientales de radiación en la zona.

Tabla 5. Límites de concentración de actividad para considerar un residuo sólido como radiactivo (NOM-035-NUCL-2000).

Radioisótopo	Límites de concentración de actividad (Bq/g) Contaminación superficial fija (Bq/cm ²)
²² Na, ²⁴ Na, ⁵⁴ Mn, ⁶⁰ Co, ⁶⁵ Zn, ⁹⁴ Nb, ^{110m} Ag, ¹²⁴ Sb, ¹³⁴ Cs, ¹³⁷ Cs, ¹⁵² Eu, ²¹⁰ Pb, ²²⁶ Ra, ²²⁸ Ra, ²²⁸ Th, ²³⁰ Th, ²³² Th, ²³⁴ U, ²³⁵ U, ²³⁸ U, ²³⁷ Np, ²³⁹ Pu, ²⁴⁰ Pu, ²⁴¹ Am, ²⁴⁴ Cm	0.3
⁵⁸ Co, ⁵⁹ Fe, ⁹⁰ Sr, ¹⁰⁶ Ru, ¹¹¹ In, ¹³¹ I, ¹⁹² Ir, ¹⁹⁸ Au, ²¹⁰ Po	3
⁵¹ Cr, ⁵⁷ Co, ^{99m} Tc, ¹²³ I, ¹²⁵ I, ²⁰¹ Tl, ²⁴¹ Pu, ¹²⁹ I, ¹⁴⁴ Ce	30
¹⁴ C, ³² P, ³⁶ Cl, ⁵⁵ Fe, ⁸⁹ Sr, ⁹⁰ Y, ⁹⁹ Tc, ¹⁰⁹ Cd	300
³ H, ³⁵ S, ⁴⁵ Ca, ⁶³ Ni, ¹⁴⁷ Pm	3000

Fuente: NOM-035-NUCL-2000, Manejo de desechos radiactivos en instalaciones radiactivas que utilizan fuentes abiertas.

Todos los requerimientos para descargar residuos líquidos se encuentran establecidos en la **NOM-028-NUCL-1996**, que establece los criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público. En esta norma se encuentran la concentración de actividad de los residuos que no deben sobrepasarse para su descarga al drenaje. Para consultar las concentraciones límite en efluentes gaseosos y vertimientos consultar el **Anexo I**. Cabe señalar que cualquier descarga debe ser autorizada y supervisada por la CNSNS.

La descarga de residuos líquidos debe cumplir con ciertos requerimientos

REQUERIMIENTOS PARA LAS DESCARGAS DE RESIDUOS LÍQUIDOS (NOM-028-NUCL-2009)

- Deben ser determinadas la actividad total y la concentración individual de los radionúclidos en el líquido.
- Sólo pueden descargarse los lotes de residuos líquidos cuya concentración y actividad total esté por debajo de los valores límite (ver **Anexo I**).

- Todos los líquidos descargados deben ser completamente solubles y dispersables en agua; los líquidos que contengan sólidos suspendidos o sedimentos deben filtrarse antes de su descarga.
- Los ácidos deben neutralizarse y, si es necesario, filtrarse antes de ser descargados.
- Los residuos con características CRETIB (Corrosividad, Reactividad, Explosividad, Toxicidad, Inflamabilidad o Biológico-infeccioso), una vez que su concentración se encuentre por debajo de la concentración límite, no podrán descargarse al drenaje (ver **Anexo I**), deben tratarse como residuos peligrosos.
- Deben existir los permisos de la CNSNS para la descarga y monitoreo de residuos radiactivos.
- Debe establecerse un registro actualizado de las descargas realizadas.

13. REQUERIMIENTOS PARA LA DISPOSICIÓN DE FUENTES CERRADAS Y ABIERTAS

Toda fuente radiactiva para desecho (cerrada o abierta) debe contar con su **manifiesto de embarque establecido en el apéndice A de la NOM-018-NUCL-1995** (ver **Anexo VI**), que establece los métodos para determinar la concentración de la actividad total de desechos radiactivos, siendo muy importante archivar toda la información técnica del fabricante o diagramas de conformación de equipos, hasta el momento de la entrega del material o equipo a la empresa autorizada. **El manifiesto de embarque debe conservarse dentro del centro de investigación o docencia cuando menos cinco años en común acuerdo con la CNSNS.**

Todas las fuentes cerradas deben entregarse en su contenedor original, se debe mantener la cápsula con el recubrimiento de fábrica. Es importante entender que las fuentes cerradas conllevan un mayor riesgo de exposición al personal, por lo que se hace imprescindible su mínima manipulación y comprender que las cápsulas o empaques de las fuentes controlan las emisiones radiactivas, ya que son barreras de contención de las radiaciones.

Razones para considerar en desuso las fuentes radiactivas cerradas:

- a) El decaimiento de la fuente no permite el uso para el que fue concebida.
- b) Existe daño de la fuente.
- c) Existen condiciones externas que afectan el funcionamiento del equipo.
- d) No existen condiciones de seguridad que permitan el uso cotidiano de la fuente.
- e) El equipo no puede seguir operando o está obsoleto.
- f) Se concluye el trabajo de la práctica donde era utilizada.
- g) Existen fallas de hermeticidad.
- h) Existen métodos menos riesgosos y más económicos para la determinación o prueba realizada con dicha fuente.
- i) El equipo utilizado se encuentra averiado por mucho tiempo, con los consecuentes riesgos para mantenerlo en las instalaciones sin supervisión.

En la entrega de fuentes cerradas en desuso o gastadas se adjuntará la siguiente documentación:

1. Copia de certificado de fabricación expedido por la empresa fabricante o en su defecto, copia del certificado de calibración (verificación de actividad de la fuente) expedido por un laboratorio autorizado por la CNSNS.
2. Copia del certificado (o reporte) de la última prueba de fuga menor a un año de expedición por el laboratorio autorizado, debiendo cumplir la **NOM-002-NUCL-2004**, *Pruebas de fuga y hermeticidad de fuente selladas*.
3. Copia completa de licencia de uso y posesión de material radiactivo, expedido por la CNSNS, que ampare la fuente.

En la entrega de fuentes cerradas en las mismas instalaciones universitarias debe:

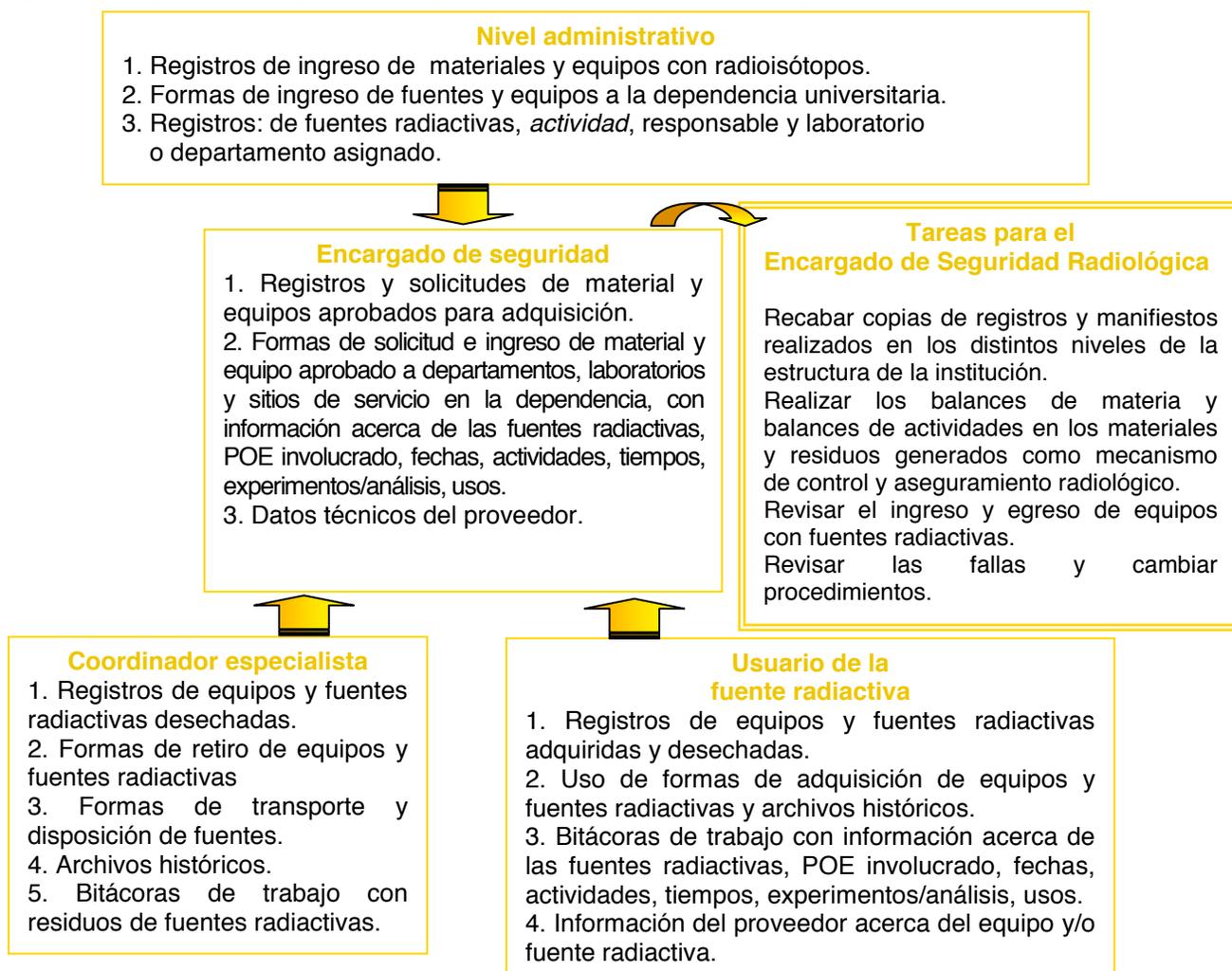
1. En caso de fuentes aseguradas por la CNSNS, deberá efectuarse el trámite correspondiente para el retiro de sellos.
2. En caso de fuentes pesadas y/o voluminosas se anexará un diagrama de las instalaciones con las dimensiones del equipo, peso, fuente radiactiva y algún otro dato importante.
3. En caso de equipo donde sólo se requiera el retiro de la fuente radiactiva, esto será realizado por el usuario y el ININ sólo se llevará la fuente encapsulada.
4. Informar de fuentes que presenten dosis mayores a 200 mrem/h en superficie.

14. REGISTROS DE INFORMACIÓN ACERCA DEL MANEJO Y DISPOSICIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

El control y seguridad de instalaciones y personal expuesto a radiaciones debe contar con evaluaciones y balances de flujo de materiales y actividades correspondientes en toda la cadena de custodia de las fuentes radiactivas, contando con registros en distintos niveles organizativos (departamentos, laboratorios, centros de servicio, almacenes, etcétera) que permitan el control. Se establecerán mecanismos para comparar los registros de entrada y salida de fuentes radiactivas de la institución.

Se establecerá un control por lo menos en cuatro niveles de la organización: a) nivel administrativo, para control de los equipos y fuentes radiactivas que ingresan y egresan de la institución; b) usuario final, el académico responsable de equipos y fuentes radiactivas, de quien se puede obtener información de su uso y destino por estar en contacto cotidiano con la fuente; c) encargado de seguridad, quien tiene que dar autorizaciones y registrar el ingreso y egreso de fuentes radiactivas a la dependencia; y d) coordinador especialista en manejo de residuos radiactivos, quien podrá registrar los egresos de fuentes radiactivas de la dependencia universitaria, así como las condiciones del residuo, actividad, entre otros (ver **Figura 7**).

Figura 7. Diagrama de registros y flujos de información para el aseguramiento de fuentes radiactivas.



15. RESPUESTA A EMERGENCIAS

En caso de respuesta a emergencias en centros de investigación y docencia deberá existir un trabajo previo que permita la intervención precisa del personal capacitado y con los procedimientos específicos en cada una de las situaciones de riesgo, por lo cual debe haber una preparación previa de grupos de trabajo que permitan la atención inmediata en instalaciones y personal contaminado. A continuación se presenta un listado mínimo de tareas a realizar en caso de emergencia:

- Preparación previa de sitios en las instalaciones para la asistencia del personal contaminado. Disponer y mantener en condiciones de uso, equipos de medición, materiales y botiquín para la descontaminación.
- Designar y capacitar al personal para participar en la aplicación de las primeras medidas de atención.

- En caso de traumatismos y/o emergencias médicas notificar al servicio médico de la institución para atender la situación.
- Cuando se produzca un evento de contaminación en la superficie externa del cuerpo o se sospeche de contaminación interna, se debe realizar la descontaminación, siempre que no exista daño sobre órganos vitales que pongan en peligro la vida del paciente.
- No exponerse si no se cuenta con equipo de protección personal, material o capacitación para las situaciones de emergencia.
- Asignar a personal de la institución que dé aviso a las autoridades e instituciones pertinentes, asimismo, contar con directorios telefónicos para emergencias y cadenas de mando establecidas.
- Contar con áreas de salida y rutas de emergencia para la evacuación de personal o vía rápida de traslado de personal.
- Contar con equipo de protección personal y materiales de descontaminación.

Las acciones inmediatas en caso de emergencia deben tratar de adecuarse al tipo de emergencia y evitar un escalamiento en los riesgos implicados. Por lo que se deben llamar a los especialistas en este tipo de riesgos.

- Dar aviso al Encargado de Seguridad Radiológica de la institución y las brigadas de ayuda interna.
- El Encargado de Seguridad dará aviso al permisionario para notificar a la CNSNS.

En el caso de una emergencia por accidente vehicular, robo o incendio deberá:

- Dar aviso inmediato y oportuno al Encargado de Seguridad Radiológica de la institución.
- El Encargado de Seguridad dará aviso al permisionario y a la CNSNS.
- Avisar a las autoridades legales pertinentes.
- Dar aviso a los grupos de acción inmediata especializados para abatir los riesgos de la emergencia o recuperar el material.

RECOMENDACIONES EN CASO DE EMERGENCIAS POR CONTAMINACIÓN CON RESIDUOS RADIATIVOS

- Se atenderá al personal del laboratorio que requiere atención médica. Cualquier persona contaminada en el accidente será supervisada y descontaminada con ayuda de los servicios de la empresa autorizada por la CNSNS.
- Toda persona implicada en el accidente, de la cual se constate o sospeche contaminada deberá monitorearse y enviarse a los exámenes médicos correspondientes.
- Ningún material, equipo, dispositivo, instrumento u otro podrá salir del área contaminada hasta que se constate libre de radicación residual.
- Cualquier área contaminada o con sospecha será monitoreada. El personal no autorizado deberá salir del sitio.
- Las áreas contaminadas o equipos seguirán supervisándose regularmente por el Encargado de Seguridad y la empresa autorizada por la CNSNS, hasta el término de la supresión de la radiactividad residual.
- De acuerdo con el principio de ALARA, se descontaminará hasta alcanzar los niveles del fondo (radiación normal en el área de trabajo, ver registros).
- No se utilizará el equipo o el sitio contaminado hasta que los niveles de la contaminación residual estén por debajo de los niveles establecidos.

- Si la cantidad total del material radiactivo implicado en el derrame se encuentra por encima de lo establecido en bitácoras y registros, deberá incluirse en el informe del incidente que el comité de seguridad revisará en la siguiente reunión.
- Si los niveles de radiación (equipos o fuentes abiertas) sobrepasan los límites de normas, deberá hacerse un reporte a la CNSNS.

Las medidas siguientes se recomiendan como actividades de acción rápida en caso de contaminación en la piel, es importante una actuación rápida que permita remover la contaminación lo antes posible y evitar mayores tiempos de exposición debido al contacto con la piel.

RECOMENDACIONES PARA DESCONTAMINACIÓN DE LA PIEL

- Determinar la cantidad de radiactividad presente a un metro y al contacto con la mancha de contaminación.
- Utilizar jabón o un detergente apropiado para remover el material radiactivo. Debe tenerse mucho cuidado para evitar o reducir irritaciones en la piel.
- Un jabón abrasivo o una mezcla de harina de maíz y detergente (50%:50%), puede utilizarse en casos leves.
- Jabones comerciales especiales pueden remover adecuadamente contaminaciones específicas, por lo que se recomienda hacer una revisión de los productos en el mercado y los radionúclidos en uso.
- Jabón ácido y una solución de DTPA (Acido Dietil Triaminopentacético pentasódico) pueden quitar con éxito material radiactivo, excepto uranio o neptunio.
- Los jabones abrasivos fuertes no deben utilizarse en áreas sensibles, tales como el cuello y la cara.
- El pelo contaminado tendrá que ser cortado si los esfuerzos de descontaminación fallan.
- Debe existir un extremo cuidado para evitar cortes o raspones en la piel.
- La descontaminación debe realizarse cuidadosamente para evitar aumento de la zona contaminada.
- Si la piel está abierta o existen heridas cerca del área contaminada, deberá medirse la dosis al contacto y a un metro del punto hasta finalizar la descontaminación.

16. CAPACITACIÓN

La comunidad universitaria está constituida por personal de distinta índole que realiza actividades en función de las necesidades que el centro de enseñanza o investigación requieran, conformando grupos de trabajo que permitan llevar a buen fin los proyectos o cursos contemplados. Esta situación lleva a investigadores, estudiantes, técnicos académicos, trabajadores e inclusive a administrativos a ejercer actividades relacionadas con el manejo y disposición de residuos radiactivos, estableciéndose la necesidad de contar con un mínimo de conocimiento en la minimización de riesgos, el manejo de materiales, residuos radiactivos contando con el conocimiento de la normatividad aplicable.

Para el manejo de residuos radiactivos, es necesario contar con un programa de capacitación para el personal involucrado con el manejo y disposición de los mismos. El curso debe estar diseñado de forma que contribuya a la formación de los asistentes con los conocimientos requeridos para la gestión de residuos radiactivos y en particular, para proporcionar las habilidades que requieren quienes se ven involucrados en las diferentes actividades relacionadas con la prevención de riesgos en el trabajo, en función de los residuos de materiales radiactivos.

El manejo de residuos radiactivos es un aspecto que no puede desligarse de la protección radiológica, manejo de equipos y materiales radiactivos, es por eso que en esta sección se incluyen estos temas. A continuación se presentan las temáticas sugeridas que pueden incluirse en la conformación de los cursos de capacitación impartidos en centros de investigación y enseñanza.

Elementos críticos:

- Evaluación de las necesidades de entrenamiento.
- Establecimiento de objetivos.
- Especificación del contenido del curso y método de enseñanza.
- Tomar en cuenta las diferencias individuales de aprendizaje.
- Evaluación del entrenamiento.

Figura 8. Temáticas recomendadas para los cursos de capacitación.

<p style="text-align: center;">MÓDULO I FUENTES DE RADIACIÓN</p> <p>Constante de desintegración. Interacción de la radiación corpuscular con la materia. Absorción, penetración. Interacción de la radiación electromagnética con la materia. Dosis absorbida y rapidez de dosis. Atenuación y absorción. Rapidez de exposición. Actividad. Actividad específica. Fuentes selladas. Fuentes abiertas. Irradiación. Radiación y las vías de entrada al organismo.</p>	<p style="text-align: center;">MÓDULO II PROTECCIÓN RADIOLÓGICA</p> <p>Sistema de limitación de dosis. Exposición ocupacional. Límites para trabajadores. Exposición del público. Protección contra la radiación externa: tiempo, distancia y blindaje. Penetración y absorción de la radiación. Atenuación de la radiación. Irradiación interna. Manejo de fuentes abiertas. Uso de ropa de protección. Reglas y procedimientos de laboratorio. Métodos para descontaminar materiales, superficies y personas.</p>
<p style="text-align: center;">MÓDULO III EFECTOS BIOLÓGICOS</p> <p>Límites de contaminación. Efectos por inhalación. Efectos por ingestión. Absorción por piel. Dosis externa y dosis interna. Efectos deterministas. Efectos estocásticos. Irradiación total e irradiación parcial. Dosis. Dosis equivalente. Dosis efectiva.</p>	<p style="text-align: center;">MÓDULO IV DETECCIÓN DE RADIACIONES</p> <p>Detección y medida de la radiación. Detectores geiger. Detectores de centelleo. Detección y medición de emisiones β y α. Detección y medición de emisiones γ. Dosímetros personales y portátiles. Dosis interna, límite anual de incorporación. Dosis efectiva comprometida. Control y contabilidad del material radiactivo. Localización y control de la contaminación. Protección contra la contaminación.</p>
<p style="text-align: center;">MÓDULO V RESIDUOS RADIACTIVOS</p> <p>Ingreso de equipos y materiales a las instalaciones. Prácticas adecuadas de manejo de residuos en el laboratorio. Minimización de materiales y residuos. Minimización de dosis. Barreras de contención y recipientes, aislamiento de emisiones. Manejo de residuos radiactivos. Disposición de residuos radiactivos. Segregación de residuos radiactivos. Fuentes abiertas y fuentes cerradas. Características CRETIB. Almacenamiento, recipientes, bolsas de almacenamiento y etiquetado. Registros y bitácoras de trabajo. Tratamiento por decaimiento. Disposiciones legales y normatividad en México.</p>	<p style="text-align: center;">MÓDULO VI LEGISLACIÓN</p> <p>Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS). Reglamento General de Seguridad Radiológica. Normas Oficiales Mexicanas en relación con la radiactividad. Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP). Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA).</p>

El personal involucrado en actividades con materiales, equipos y residuos radiactivos tiene cambios constantes, por ejemplo, el sector estudiantil que tiene tiempos de residencia cortos y que necesita una atención constante para obtener el nivel de conocimientos que permita desarrollar las actividades en la materia.

ELEMENTOS RECOMENDADOS EN LOS CURSOS DE CAPACITACIÓN

- Incluir a todo el personal que esté involucrado en el manejo de residuos radiactivos; estudiantes, investigadores, trabajadores, técnicos académicos, administrativos y otros.
- Incluir prácticas con material y equipo.
- Registrados y autorizados por la CNSNS.
- Contar con los recursos materiales y humanos autorizados por la CNSNS.
- Institucionalizarlos para garantizar su impartición permanente.
- Actualizarlos constantemente; el encargado de seguridad radiológica es el responsable con el objetivo de permitir modificaciones en función de los cambios de procedimientos.
- Calendarizar la capacitación en forma anual y difundir fechas de impartición.

17. EVALUACIÓN SOBRE EL MANEJO DE RESIDUOS RADIATIVOS

Los programas de manejo y disposición de materiales y residuos radiactivos deben conformarse como el instrumento principal en el control radiológico, conjuntando y coordinando los esfuerzos y las responsabilidades de los distintos niveles de la organización. Un programa de manejo de materiales y residuos tendrá tareas específicas a lo largo del año, que es el ciclo administrativo y educativo idóneo en las universidades.

Las tareas a realizar dentro de un programa de manejo de residuos son:

- Administración de insumos necesarios para el manejo de los residuos radiactivos (bolsas, recipientes, etiquetas, etcétera).
- Formulación de estrategias de control y manejo de materiales y residuos.
- Revisión de prácticas y análisis de riesgos radiológicos.
- Recolección de residuos radiactivos
- Envío de residuos radiactivos a las instancias pertinentes (ININ).
- Desregulación de residuos radiactivos (tratamiento por decaimiento).
- Manejo de información:
 - Realización de informes de generación de residuos.
 - Control de formas de adquisición.
 - Control de manifiestos de la CNSNS.
 - Diseño de hojas de seguridad para los nuevos materiales en uso.
 - Balances anuales de materiales radiactivos y actividad.
 - Actualización de la información en la gestión de los materiales y residuos radiactivos.
- Colaboración en el diseño y reformulación de manuales de residuos y seguridad radiológica.
- Difusión de información por medio de los canales instaurados en el instituto (red de información interna, comunicados oficiales) y la creación de otros instrumentos como folletos, carteles y/o pláticas.
- Colaboración en cursos de capacitación.

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS
NIVEL GENERADOR**

Pregunta	SÍ NO	Observaciones
¿Qué tipo de radioisótopos maneja?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	
¿Cuáles son los radionúclidos?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Radioisótopo _____
¿Cuál es la actividad de cada uno de los radioisótopos?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____
		Radioisótopo _____
		MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____
		Radioisótopo _____
		MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____
¿Se generan residuos radiactivos que tengan características biológico-infecciosas o químicas (CRETIB)?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Describir manejo: _____ _____
¿Conoce la cantidad de residuos radiactivos que genera?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Semana: _____ Mes: _____ Semestre: _____ Año: _____
¿En su área de trabajo existen recipientes especiales para residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Plástico: _____ Vidrio: _____ Otros: _____
		Se recogen juntos: _____
		Se recogen por separado: _____
¿Los residuos radiactivos que genera reciben algún tipo de tratamiento?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Interno: _____ ININ: _____ Otro: _____
¿Su laboratorio tiene residuos radiactivos acumulados?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Son conocidos: _____ Son desconocidos: _____
		Cantidad aprox.: _____ Sólidos: _____ Líquidos: _____
¿En la dependencia o laboratorio existen equipos con fuentes cerradas en desuso?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Son conocidos: _____ Son desconocidos: _____
		Cantidad aprox.: _____ Sólidos: _____ Líquidos: _____
¿Cuenta con procedimientos y manuales para el manejo de sus residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Almacenamiento: _____ Etiquetado: _____
		Accidentes: _____ Recolecta: _____
		Control de acceso: _____
		Descontaminación: _____

Continuación

Pregunta	SÍ	NO	Observaciones
¿Cuenta con registros del manejo de sus residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bitácora interna: _____ Manifiestos: _____
¿Existe en su dependencia un almacén para los residuos radiactivos generados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Toda la dependencia: _____ ¿Cuenta con separación por tipo de radioisótopos? _____
¿Existe alguna persona en su área de trabajo encargada del manejo y disposición de los residuos radiactivos generados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	¿Quién? _____ ¿Qué puesto ocupa? _____ ¿Número de personas que manejan radioisótopos en su laboratorio? _____
¿Cuenta su laboratorio con equipo de protección para el manejo de los residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Mamparas: ____ Mandiles/Petos: ____ Guantes: ____ Medidores de radiación: _____ Otros: ____
¿Se programa la recolecta de residuos radiactivos con el ININ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Por Dependencia: _____
¿Existe personal en su laboratorio que maneje material radiactivo y que no esté dado de alta como POE?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Por Dependencia: _____

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS
NIVEL ADMINISTRATIVO**

Pregunta	SÍ	NO	Observaciones
¿Existe alguna persona encargada del manejo y disposición de los residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	¿Quién? _____ ¿Qué puesto ocupa? _____ ¿Número de POEs? _____
¿Existe en su dependencia un almacén para los residuos radiactivos generados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Toda la dependencia: _____ ¿Cuenta con separación por tipo? _____
¿La dependencia proporciona recipientes y etiquetas especiales para residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Plástico: _____ Vidrio: _____ Otros: _____ Etiquetas: _____
¿Su dependencia tiene residuos radiactivos acumulados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Son conocidos: _____ Son desconocidos: _____ Cantidad aprox.: _____ Sólidos: _____ Líquidos: _____
¿Cuenta con procedimientos y manuales para el manejo de sus residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Almacenamiento: _____ Etiquetado: _____ Accidentes: _____ Recolecta: _____ Control de acceso: _____ Descontaminación: _____
¿Cuenta con registros del manejo de sus residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bitácora: _____ Manifiestos: _____ Documentos y autorizaciones
¿Se programa la recolecta de residuos radiactivos con el ININ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Por Dependencia: _____
¿Alguna vez ha tenido un accidente donde se haya involucrado un residuo radiactivo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Describir el evento: _____ _____
¿Cuenta con registros del manejo de sus residuos radiactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Bitácora: _____ Manifiestos: _____ Documentos y autorizaciones
¿Se programa la recolecta de residuos radiactivos con el ININ?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Por laboratorio: _____ Por Dependencia: _____

Continuación

Pregunta	SÍ	NO	Observaciones
¿Alguna vez ha tenido un accidente donde se haya involucrado un residuo radiactivo?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Describir el evento: _____

**EVALUACIÓN DEL MANEJO DE RESIDUOS
NIVEL RESPONSABLE DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA**

Pregunta	SÍ	NO	Observaciones
¿Qué tipo de radioisótopos maneja?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
¿Cuáles son los radionúclidos?			Radioisótopo _____
¿Cuál es la actividad de cada uno de los radioisótopos?			MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____ Radioisótopo _____
			MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____ Radioisótopo _____
			MicroBequereles ($\mu\text{Bq}/\text{m}^3$): _____ μCi ($\mu\text{C}/\text{m}^3$): _____ Radioisótopo _____
¿Se generan residuos radioactivos que tengan características biológico-infecciosas o químicas (CRETIB)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Describir manejo: _____
¿Se generan residuos radioactivos que tengan características biológico-infecciosas o químicas (CRETIB)?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Describir manejo: _____
¿Conoce la cantidad de residuos radioactivos que genera?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Semana: _____ Mes: _____ Semestre: _____ Año: _____
¿En su dependencia existen recipientes etiquetados especialmente para residuos radioactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Plástico: _____ Vidrio: _____ Otros: _____
			Se recogen juntos: _____ Se recogen separados: _____
¿Existe una partida presupuestal específica para el manejo de los residuos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Nombre de la partida _____
¿Ha desechado residuos radioactivos?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Drenaje: _____ Basura: _____ Otro: _____
¿Los residuos radioactivos que genera la dependencia reciben algún tipo de tratamiento?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Interno: _____ ININ: _____ Otro: _____
¿Su dependencia tiene residuos radioactivos acumulados?	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Son conocidos: _____ Son desconocidos: _____
			Cantidad aprox.: _____ Sólidos: _____ Líquidos: _____

Continuación

- ¿En la dependencia existen equipos con fuentes cerradas de material radiactivo en desuso? Características de la fuente

- ¿Cuenta con procedimientos y manuales para el manejo de sus residuos radioactivos? Almacenamiento: ____ Etiquetado: ____
Accidentes: ____ Recolecta: ____ Control de acceso: ____ Descontaminación: _____
- ¿Cuenta con registros del manejo de sus residuos radioactivos? Bitácora de almacenamiento:

Manifiestos:

- ¿Existe en su dependencia un almacén para los residuos radioactivos generados? Por laboratorio: _____
Toda la dependencia: _____
¿Cuenta con separación por tipo? _____
- ¿Tienen licencia para el manejo de material radiactivo? Núm. o clave de licencia: _____
- ¿Existe personal registrado como POEs en su dependencia? Número de POEs: _____
- ¿Cuenta su dependencia con equipo de protección para el manejo de los residuos radioactivos? Mamparas: ____ Mandiles / petos: ____
Medidores de radiación: _____ Otros: _____
- ¿Se programa la recolecta de residuos radioactivos con el ININ? Por laboratorio: _____
Por Dependencia: _____
- ¿Alguna vez ha tenido un accidente donde se haya involucrado un residuo radioactivo? Describir el evento:

18. BIBLIOGRAFÍA GENERAL

- Audeen W. F., Matthew E. Jorat, Ronald J. Veley, 1994, *Métodos de disposición de residuos radioactivos de bajo nivel*, The Ohio State University, pág. 10-36.
- Castellanos Barba C., López Marín L. M., Rosales Ledesma R., Ladrón de Guevara O., Hérlion Scohy P., Osorio A. V., Garduño Sorio G., *Seguridad para laboratorios biomédicos*, 1999, Instituto de Investigaciones Biomédicas. UNAM, pág. 160-194.
- Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP-60), 1990. Publicación N° 60.
- Departamento de Seguridad Radiológica, límites y procedimientos radiológicos, 2001, Universidad de UTA, Salt Lake City, EUA.
- Han de Kyong W., Heinonen J., y Bonne A., Disposición de Residuos Radiactivos, Experiencias y cambios globales, 1997, Boletín de Agencia Internacional de Energía Atómica, Volumen 39.
- Jiménez Castro I., *El sistema de licenciamiento y el control de las fuentes de radiación en México, estado actual y desafío a futuro*, 2001, Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia. CNSNS, México, Simposio sobre energía nuclear: desafíos y realidades en Latinoamérica, Comisión Nacional de Energía Atómica de Argentina.
- Protección radiológica para el uso de fuentes abiertas, Instituto de Ciencias Nucleares (ICN), UNAM, 2001. *Apuntes: Curso para personal ocupacionalmente expuesto*, pág. 5-22, México.
- Reglamento de la Ley General de Equilibrio Ecológico y la Protección del Ambiente en Materia de Impacto Ambiental. DOF 7-VI-1988, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, México.
- Reglamento General de Seguridad Radiológica, DOF 22-XI-1988. Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México.

19. RECURSOS ELECTRÓNICOS

- Asociación Nuclear Mundial (ANM), 10/jun/2007
<http://world-nuclear.org/info/info.html#radioactivewastes>
- Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, México. 22/jun/2007.
<http://www.cnsns.gob.mx/>
- Consejo de Seguridad Nuclear de España 25/may/2007
http://www.csn.es/plantillas/frame_publicaciones.jsp?id_nodo=280&&tipo=GSG&keyword=&auditoria=F
- Sociedad de física sanitaria, Departamento del Norte de Carolina (North Carolina Chapter of the Health Physics Society).
<http://hpschapters.org/northcarolina/nsds.php3>
- Energía 2001. Foro de la Industria Nuclear Española (FINE), 22/may/07
<http://www.foronuclear.org/publicaciones.jsp>
- Instituto de Energía Nuclear (IEN), 29/May/2007
<http://www.nei.org/keyissues/nuclearwastedisposal/>
- Normas Oficiales Mexicanas en material de radiactividad, 17/jun/2007
http://www.cnsns.gob.mx/acerca_de/marco/otras_disposiciones.aspx
- Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), 1991, La gerencia de los desechos radioactivos, Informe: ISBN 0 946777 21 7. 15/jun/2007
<http://www.iaea.org/Publications/Factsheets/index.html>
- ICRP - International Commission on Radiological Protection, 10/jul/2007
http://www.icrp.org/educational_area.asp
- Universidad de Stanford, Departamento de seguridad y salud ambiental, 12/jul/2007
<http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/>
- University of Kentucky, radioactive materials, 15/jul/2007
<http://ehs.uky.edu/radiation/KYReg/newradman.html>
- University of Nebraska, 16/jul/2007
<http://ehs.unl.edu/sop/#rad>
- The University of Pittsburgh Radiation Safety Office, 16/jul/2007
http://www.radsafe.pitt.edu/ManualTraining/Appendix%20C.htm#List_3_5

20. GLOSARIO

Actividad: Es el número de transiciones nucleares espontáneas que ocurren por unidad de tiempo en una cantidad dada de material radiactivo. Formalmente la actividad A , de una cantidad determinada de material radiactivo, es el cociente de dN entre dt , siendo dN el número de transiciones nucleares espontáneas que ocurre en el intervalo dt .

ALARA: término procedente del término en inglés “As Low As Reasonably Achievable” que puede entenderse como la realización de actividades donde todas las exposiciones a las radiaciones ionizantes deben mantenerse tan bajas como sea razonablemente posible.

Almacenamiento Temporal: Es el almacenamiento de los residuos radiactivos en una instalación controlada, que brinda protección al personal, a la población y al ambiente, y de la que serán posteriormente recuperados, tratados o acondicionados para su posterior disposición final.

Barrera o blindaje: Al igual que un blindaje, es una estructura o dispositivo diseñado para prevenir o retardar las radiaciones ionizantes de radionúclidos.

Bq: Unidad de medida de la actividad donde $1 \text{ Bq} = 1$ desintegración por segundo.

Bulto: Producto final del acondicionamiento que comprende al residuo radiactivo, cualquier contenedor (es) y las barreras internas (p.e. material absorbente), preparado en concordancia con los requerimientos para el manejo, transporte y almacenamiento temporal y/o final.

Ci: Unidad de medida de la actividad donde $1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10}$ desintegraciones por segundo.

CNSNS: Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardia, organismo descentralizado encargado de manejar todos los asuntos relacionados con los recursos nucleares, incluyendo las funciones de control y vigilancia de la producción de energía nuclear.

Comisión Internacional de Protección Radiológica (siglas en inglés ICRP) es una asociación científica independiente dedicada a la ciencia de la protección radiológica para beneficio público.

Comunicación de riesgo: conjunto de estrategias y actividades tendientes a informar y educar al personal acerca de los riesgos inherentes del trabajo realizado.

Concentración de actividad: Es la actividad contenida por unidad de volumen Bq/m^3 (Ci/m^3).

Contaminación radiactiva: es la presencia no deseada de una sustancia radiactiva en cantidades superiores a los límites de contaminación establecidos en la **NOM-008-NUCL-2011**, dicha contaminación puede ser fija o removible.

CRETIB: acrónimo de clasificación de las características a identificar en los residuos peligrosos y que significa; corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico ambiental, inflamable y biológico-infeccioso.

Residuos radiactivos: cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos o concentraciones o niveles de radiactividad, mayores a las señaladas por la CNSNS en la norma técnica correspondiente, y para lo cual no se prevé uso alguno.

Disposición final: Acción de depositar o confinar permanentemente residuos en sitios e instalaciones cuyas características permitan prevenir su liberación al ambiente y las consecuentes afectaciones a la salud de la población y a los ecosistemas y sus elementos.

Efectos estocásticos: son aquellos casos en los que la probabilidad de que el efecto se presente se considera como una función de la dosis, sin que exista una dosis umbral y pueden manifestarse tanto en el individuo expuesto como en su descendencia.

Efectos no estocásticos: efectos determinados: son aquellos casos en los que la severidad del efecto es función de la dosis y se presentan a partir de un valor umbral. Estos efectos se manifiestan en el individuo expuesto.

Emisión γ : son fotones o paquetes (cuantos) de radiación. Los fotones no tienen ni masa ni carga, y son los más penetrantes de las emisiones, con distancias de penetración típicas en la escala de 5 a 20 g/cm², dependiendo de la energía de los rayos gamma, y del número atómico Z del material absorbente. Para materiales con valores de Z elevados (como el plomo, $Z = 82$), las distancias típicas de penetración son sólo de 1 g/cm² a 200 keV, e incluso mucho menor para energías menores, por lo que, por ejemplo, delgadas hojas de plomo resultan muy efectivas para detener rayos X.

Emisión β : son electrones que tienen una masa mucho menor que una partícula alfa. Excepto en unos pocos casos, las partículas beta emitidas en la radiactividad natural están cargadas negativamente; estas partículas están designadas más completamente especificando su carga: partículas β^- . Las partículas β^- son idénticas a los electrones ordinarios que se encuentran alrededor de los núcleos atómicos.

Encargado de seguridad radiológica: es aquella persona responsable de la vigilancia y aplicación de todo lo relacionado con la protección radiológica en el centro de trabajo.

Equivalente de dosis: es la magnitud que correlaciona la dosis absorbida con la probabilidad de la aparición de los efectos estocásticos. El equivalente de dosis se calcula mediante la ecuación: $H=DQN$, donde D es la dosis absorbida en J/kg, Q es el factor de calidad y N es el producto de todos los demás factores modificantes, tomándose por ahora un valor para N igual a la unidad. El nombre especial para la unidad equivalente de dosis es el sievert (Sv).

Fuente de radiación ionizante: cualquier dispositivo, material o sustancia que emita o sea capaz de generar radiación ionizante en forma cuantificable.

Fuentes abiertas: fuente de radiación ionizante que durante su uso puede entrar en contacto directo con el ambiente, sin un recubrimiento de fábrica para resguardo de las emisiones.

Fuentes cerradas: fuente de radiación ionizante que durante su uso entra en contacto indirecto con las personas o el ambiente o cuenta con un recubrimiento especial de fábrica.

Generación de residuos radiactivos: conjunto de actividades o procesos que producen materiales radiactivos remanentes o sin uso del proceso que lo produjo.

Gestión de residuos radiactivos: es el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos radiactivos el destino final más adecuado de acuerdo con sus características; comprende las operaciones de recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación.

ININ: Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, organismo descentralizado de la Administración Pública dentro del Sector de Energía como un centro de investigación y desarrollo tecnológico.

Instalaciones Radiactivas: son aquellas en las que se producen, fabrican, almacenan o usan fuentes radiactivas o dispositivos generadores de radiación ionizante, o en las que se tratan, acondicionan o almacenan residuos radiactivos.

Líquido acuoso: aquella solución cuyo solvente sea agua y no tenga presencia de solutos orgánicos.

Líquido no acuoso: aquella solución cuyo solvente sea un líquido orgánico tal como: tolueno, xileno, hexano, tetracloruro de carbono, acetona, alcoholes, tricloroetano, percloroetileno y soluciones de tributilfosfato (TBP).

Manejo de residuos radiactivos: al igual que el término de gestión de residuos, es el conjunto de actividades encaminadas a dar a los residuos radiactivos el destino final más adecuado de acuerdo con sus características; comprende las operaciones de recolección, clasificación, almacenamiento, transporte, tratamiento, recuperación y eliminación.

Material Radiactivo: cualquier material que contiene uno o varios radionúclidos que emiten espontáneamente partículas o radiación electromagnética, o que se fisionan espontáneamente.

Material: sustancia, compuesto o mezcla de ellos, que se usa como insumo y es un componente de productos de consumo, de envases, empaques, embalajes y de los residuos que éstos generan.

Niveles de dispensa o Límites de dispensa: límites a partir de los cuales se determina si un residuo es declarado como residuo radiactivo o puede ser gestionado por métodos convencionales (evacuado, reciclado o reutilizado).

Peligro: capacidad, característica o propiedad inherente de un material o dispositivo que puede causar algún daño o efecto negativo en las personas o el ambiente y que no puede suprimirse del objeto sin destruir su naturaleza.

Permisionario: persona física o moral que posee la titularidad de la autorización, permiso o licencia expedidos por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias.

Personal Ocupacionalmente Expuesto (POE): es aquel trabajador que en ejercicio y con motivo de su ocupación está expuesto continuamente a la radiación ionizante o a la incorporación de material radiactivo.

Presión de vapor: es la presión en la que dos fases, una líquida y otra gaseosa se encuentran en equilibrio; su valor es independiente de las cantidades de líquido y vapor presentes mientras existan ambas, cualquier cambio en el equilibrio provocará un cambio de presión y la tendencia de transformación de una de las fases.

Protección radiológica: aquella que tiene por objeto proteger a los trabajadores, a la población y a sus bienes, así como el ambiente en general mediante la prevención y limitación de los efectos que puedan resultar de la exposición a la radiación ionizante.

Radiación ionizante: es toda radiación electromagnética o corpuscular capaz de producir iones, directa o indirectamente, debido a su interacción con la materia.

Radioisótopo: átomo cuyo núcleo es inestable debido a que su proporción de neutrones es mayor o menor al número de protones; por lo tanto, dicho núcleo al tender hacia el equilibrio emitirá radiación en forma de ondas o partículas.

Radionúclido: átomo cuyo núcleo es inestable debido a que su proporción de neutrones es mayor o menor al número de protones; por lo tanto, dicho núcleo al tender hacia el equilibrio emitirá radiación en forma de ondas o partículas.

Radiotoxicidad: es la capacidad que tiene un radionúclido para producir una lesión en virtud de sus emisiones radiactivas, cuando es incorporado al cuerpo.

Recolección: conjunto de actividades de acopio de residuos de los sitios de generación.

Residuo peligroso: residuo con capacidad, característica o propiedad inherente que puede causar algún daño o efecto negativo en las personas o el ambiente.

Residuo radiactivo: cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos o concentraciones o niveles de radiactividad, mayores a las señaladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias en la norma técnica correspondiente, y para lo cual no se prevé uso alguno.

Residuo: material o producto cuyo propietario o poseedor desecha y que se encuentra en estado sólido o semisólido, o es un líquido o gas contenido en recipientes o depósitos, y que puede ser susceptible de ser valorizado o requiere sujetarse a tratamiento o disposición final conforme a lo dispuesto en esta Ley y demás ordenamientos que de ella deriven.

Riesgo: probabilidad o posibilidad de que el manejo, la liberación al ambiente y la exposición a un material o residuo, ocasionen efectos adversos en la salud humana, en los demás organismos vivos, en el agua, aire, suelo, en los ecosistemas, o en los bienes y propiedades pertenecientes a los particulares.

Segregación: separar los residuos radiactivos de acuerdo con el radionúclido contenido o algún otro criterio que la CNSNS determine.

Sv: unidad derivada SI del equivalente de la dosis. Traduce los efectos biológicos de la radiación en comparación con los efectos físicos, que son caracterizados por la dosis absorbida.

Toxicidad: es la capacidad que tiene un compuesto para producir lesión a todo el cuerpo o a una parte susceptible del mismo. El peligro de la toxicidad es la probabilidad de que se produzca una lesión y depende de la forma como se administre dicho compuesto.

Tratamiento: procedimientos físicos, químicos, biológicos o térmicos, mediante los cuales se cambian las características de los residuos y se reduce su volumen o peligrosidad.

Volatilización: es un proceso físico que consiste en el cambio de estado de la materia sólida al estado gaseoso, sin pasar por el estado líquido.

ANEXO I

Concentraciones límite en efluentes gaseosos y vertimientos. NOM-006-NUCL-1994.
Selección de radioisótopos

Radionúclido	Concentración límite en aire	Concentración límite en agua	Concentración Límite a drenaje
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
¹²⁹ Sb	4E+02	1E+06	1E+07
¹³⁰ Sb	3E+03	1E+07	1E+08
¹³¹ Sb	1E+03	8E+06	8E+07
³⁵ S	1E+02	3E+06	3E+07
¹⁴ C	1E+02	1E+06	1E+07
³⁶ Cl	1E+01	8E+05	8E+06
³⁸ Cl	3E+03	8E+06	8E+07
³⁹ Cl	3E+03	1E+07	1E+08
⁵⁵ Co	8E+01	5E+05	5E+06
⁵⁶ Co	1E+01	3E+05	3E+06
⁵⁷ Co	3E+01	4E+06	4E+07
⁵⁸ Co	4E+01	8E+05	8E+06
⁵⁸ mCo	3E+03	3E+07	3E+08
⁶⁰ Co	1E+00	3E+05	3E+06
⁶⁰ mCo	6E+04	5E+08	5E+09
⁶¹ Co	1E+03	1E+07	1E+08
⁶² mCo	1E+03	1E+07	1E+08
⁶⁰ Cu	4E+03	1E+07	1E+08
⁶¹ Cu	1E+03	7E+06	7E+07
⁶⁴ Cu	1E+03	5E+06	5E+07
⁶⁷ Cu	3E+02	3E+06	3E+07
⁴⁸ Cr	3E+02	3E+06	3E+07
⁴⁹ Cr	1E+03	1E+07	1E+08
⁸⁰ Sr	6E+02	3E+06	3E+07
⁸¹ Sr	4E+03	1E+07	1E+08
⁸² Sr	2E+01	1E+05	1E+05
⁸³ Sr	1E+02	1E+06	1E+07
⁸⁵ mSr	3E+04	1E+08	1E+09
⁸⁵ Sr	8E+01	1E+06	1E+07
⁸⁷ mSr	7E+03	1E+07	1E+08
⁸⁹ Sr	7E+00	3E+05	3E+06
⁹⁰ Sr	1E-01	1E+04	1E+05
⁹¹ Sr	1E+02	8E+05	8E+06
⁹² Sr	3E+02	1E+06	1E+07
¹⁸ F	4E+03	3E+07	3E+08
³² P	1E+01	3E+05	3E+06
³³ P	1E+02	3E+06	3E+07
³ H	4E+03	4E+07	4E+08
⁴⁰ K	1E+01	1E+05	1E+06
⁴² K	3E+02	3E+06	3E+07
⁴³ K	4E+02	3E+06	3E+07
⁴⁴ K	3E+03	1E+07	1E+08
⁴⁵ K	6E+03	1E+07	1E+08

La lista completa de radionúclidos se encuentra en la NOM-006-NUCL-1994. Criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público.

Continuación

Radionúclido	Concentración límite en aire	Concentración límite en agua	Concentración límite a drenaje
	Bq/m ³	Bq/m ³	Bq/m ³
⁷⁹ Rb	6E+03	1E+07	1E+08
^{81m} Rb	1E+04	1E+08	1E+09
⁸¹ Rb	3E+03	1E+07	1E+08
^{82m} Rb	1E+03	5E+06	5E+07
⁸³ Rb	6E+01	3E+05	3E+06
⁸⁴ Rb	4E+01	3E+05	3E+06
⁸⁶ Rb	4E+01	3E+05	3E+06
⁸⁷ Rb	8E+01	5E+05	5E+06
⁸⁸ Rb	3E+03	1E+07	1E+08
⁸⁹ Rb	7E+03	1E+07	1E+08
²² Na	3E+01	3E+05	3E+06
²⁴ Na	3E+02	1E+06	1E+07
¹²¹ I	1E+03	5E+06	5E+07
¹²³ I	3E+02	1E+06	1E+07
¹²⁴ I	4E+00	3E+04	3E+05
¹²⁵ I	3E+00	1E+04	1E+05
¹²⁶ I	1E+00	1E+04	1E+05
¹²⁸ I	6E+03	3E+07	3E+08
¹²⁹ I	4E-01	3E+03	3E+04
¹³⁰ I	4E+01	1E+05	1E+06
¹³¹ I	3E+00	1E+04	1E+05
¹³² I	4E+02	1E+06	1E+07
^{132m} I	4E+02	1E+06	1E+07
¹³³ I	1E+01	7E+04	7E+05
¹³⁴ I	3E+03	1E+07	1E+08
¹³⁵ I	8E+01	4E+05	4E+06
⁶² Zn	1E+02	7E+05	7E+06
⁶³ Zn	4E+03	1E+07	1E+08
⁶⁵ Zn	1E+01	1E+05	1E+06

La lista completa de radionúclidos se encuentra en la NOM-006-NUCL-1994. Criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público.

ANEXO II
HOJAS DE DATOS DE SEGURIDAD DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS MÁS COMUNES EN UNIVERSIDADES
HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

 ^3H

Material radiactivo: Tritio Símbolo: ^3H

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) promedio de 5.7 keV (máximo 18.6 keV)
Tiempo de vida media [T_{1/2}]:

T_{1/2} Física: 12.3 años
T_{1/2} Biológica: 10-12 días
T_{1/2} Efectiva: 10-12 días

Actividad específica: 9,650 Ci/g máxima (357 Tbq/g)
Rango de alcance Beta:

Aire: 6 mm
Agua: 0.006 mm
Sólidos: insignificante

PROPIEDADES RADIATIVAS:

Radiotoxicidad: Baja toxicidad en todos los radionúclidos por ingestión o inhalación
Agua triteada: 1.72 E-11 Sv/Bq (.064 mrem/ μCi) al contacto
Compuestos orgánicos 4.2 E-11 Sv/Bq (0.16 mrem/ μCi) al contacto

Órgano crítico Cuerpo y tejidos por contacto con agua triteada
Rutas de entrada Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel
Peligro radiológico Exposición interna: Tomar precauciones
Exposición externa: No de cuidado

BARRERAS DE PROTECCIÓN

No requiere consideraciones especiales para cantidades del orden de mCi.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos de orina para detectar posible contaminación por ^3H , siempre que se sospeche algún accidente o problema por el uso de este material con actividades mayores a 10 mCi.

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo con método para conteo de ^3H

PRECAUCIONES ESPECIALES

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante
Muchos compuestos de ^3H penetran rápidamente en los guantes y en la piel, siempre que se manejan manualmente compuestos con ^3H utilizar doble guante en cada mano y cambiar por otro par cada 20 minutos durante el transcurso del experimento.

Quando se utilizan los precursores de DNA triteado son considerados muy tóxicos (más que $^3\text{H}_2\text{O}$). Este compuesto generalmente se volatiliza desprendiendo algunas trazas de material que no se deben considerar de cuidado.

La difícil detección de tritio por los distintos instrumentos complica la detección de contaminación, por lo que es necesario tener mucho cuidado al manejar y disponer este material.

Manipular el ^3H siempre sobre papel absorbente, la operación de apertura de viales deberá realizarse dentro de la campana extractora de gases.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/3HPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/tritium.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/H-3.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

¹⁴C

Material radiactivo: Carbono

Símbolo: ¹⁴C

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) promedio 49 keV (máximo 156 keV)

Tiempo de vida media [T½]:

T½ Física: 5,730 años

T½ Biológica: 12 días

T½ Efectiva: 12 días en hueso

Actividad específica: 4.46 Ci/g máxima (0.165 Tbq/g)

Rango de alcance Beta:

Aire: 24 cm

Agua y piel: 0.28 mm

[~1% del ¹⁴C emite radiaciones beta a través de la capa muerta de piel, i.e. 0.007 cm profundidad]

Plástico: 0.25 mm

PROPIEDADES RADIACTIVAS:

Radiotoxicidad: 5.64 E-10 Sv/Bq (2.09 mrem/μCi) por ingestión

6.36 E-12 Sv/Bq (0.023 mrem/μCi) por inhalación

Órgano crítico

Tejido graso y hueso

Rutas de entrada

Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel

Peligro radiológico

Exposición interna: Tomar precauciones

Exposición externa: No de cuidado

BARRERAS DE PROTECCIÓN

No requiere consideraciones especiales para cantidades del orden de mCi.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos de orina para detectar posible contaminación por ¹⁴C, siempre que se sospeche algún accidente o problema por el uso de este material con actividades mayores a 5 mCi.

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)

Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo con método para conteo de ¹⁴C

PRECAUCIONES ESPECIALES

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante.

Muchos compuestos de ¹⁴C pueden penetrar por los guantes y por la piel, siempre que se manejan manualmente compuestos con ¹⁴C utilizar doble guante en cada mano y cambiar por otro par cada 20 minutos durante el transcurso del experimento.

En las operaciones de apertura de viales y en experimentos que generen aerosoles, utilizar campanas extractoras de gases.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/14CPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/carbon.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/C-14.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

³²P

Material radiactivo: Fósforo Símbolo: ³²P

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) Máximo: 695 keV, promedio 1,710 keV

Tiempo de vida media [T_{1/2}]:

T_{1/2} Física: 14.29 días
T_{1/2} Biológica: 1,155 días (hueso), 257 días (todo el cuerpo)
T_{1/2} Efectiva: 14.29 días

Actividad específica:

286,500 Ci/g máxima (10.600 Tbq/g)

Rango de alcance Beta:

Aire: 610cm
Agua: 0.76 cm
Plástico: 0.61 cm

PROPIEDADES RADIACTIVAS:

Radiotoxicidad:

8.1E-9 Sv/Bq (30 mrem/μCi, médula espinal) por ingestión
2.4E-9 Sv/Bq (8.8 mrem/μCi, todo el cuerpo) por ingestión
2.6E-8 Sv/Bq (95 mrem/μCi, pulmón) por inhalación
4.2E-9 Sv/Bq (16 mrem/μCi, todo el cuerpo) por inhalación

Órgano crítico

Hueso (³²P soluble), pulmón por inhalación, tracto digestivo por ingestión de compuestos insolubles

Rutas de entrada

Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel

Peligro radiológico

Exposición interna: cantidades sin protección desde 1 mCi por vía oral
Exposición externa: aproximadamente 26 rem/h

BARRERAS DE PROTECCIÓN

Barreras de 4/8 de pulgada de lucita, si el detector de rayos X se activa, utilizar de 1/8 a ¼ de pulgada de plomo después de la barrera de lucita, vidrio o plexiglas.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Siempre se debe de monitorear la ropa (cuerpo y anillos) cuando haya indicios de contaminación con ³²P

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)
Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)

Examen de contaminación

Utilizar Contador con líquido de centelleo con método para conteo de ³²P

PRECAUCIONES ESPECIALES

La manipulación de este material requiere de condiciones especiales debido a su alta energía

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante.

Usar barreras de protección de lucita de 3/8 de pulgada a fin de minimizar exposiciones

Evitar la preparación de soluciones ácidas que contengan o entren en contacto con ¹²⁵I, se propicia la volatilización.

Evitar usar la mano directamente al usar fuentes ³²P. Siempre utilizar dosímetro al manejar ³²P.

El ³²P no es volátil, se puede desestimar la emisión o transporte por gases o vapores al calentar.

Con el fin de disminuir dosis en manos y extremidades se debe evitar su exposición directa y efectuar las operaciones precipitadamente.

Se debe planear cuidadosamente el experimento y extracción de alícuotas.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/32PPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/phos32.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/P-32.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

³³P

Material radiactivo: Fósforo

Símbolo: ³³P

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) 76.4 keV (máximo 248.5 keV)

Tiempo de vida media [T_{1/2}]:

T_{1/2} Física: 25.3 días

T_{1/2} Biológica: 1,155 días (hueso), 257 días (todo el cuerpo)

T_{1/2} Efectiva: 25.3 días

Actividad específica: 156,000 Ci/g máxima (5,780 Tbq/g)

Rango de alcance Beta:

Aire: 50 cm

Agua: 0.06 cm

Plástico: 0.05 cm

PROPIEDADES RADIACTIVAS:

Radiotoxicidad: 1.85 Sv/Bq (30 mrem/μCi, médula espinal) por ingestión

0.92 Sv/Bq (8.8 mrem/μCi, todo el cuerpo) por ingestión

15.6 Sv/Bq (95 mrem/μCi, pulmón) por inhalación

2.32 Sv/Bq (16 mrem/μCi, todo el cuerpo) por inhalación

Órgano crítico

Hueso (³²P soluble), pulmón por inhalación, tracto digestivo por ingestión de compuestos insolubles

Rutas de entrada

Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel

Peligro radiológico

Exposición interna: De cuidado

Exposición externa: Cantidades del orden de mCi no existen datos de daños reportados.

BARRERAS DE PROTECCIÓN

No requiere consideraciones especiales para cantidades del orden de mCi.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos de orina para detectar posible contaminación por ³³P, siempre que se sospeche algún accidente o problema por el uso de este material.

No es necesario utilizar dosímetro al trabajar con ³³P

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)

Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo con método para conteo de ³³P

PRECAUCIONES ESPECIALES

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante.

El ³³P no es volátil, aún al calentar, y puede ser ignorado el uso de campana extractora o alguna otra protección.

Para la limpieza de zonas de trabajo con este radionúclido, el vinagre es un efectivo descontaminante.

En las operaciones de apertura de viales y en experimentos que generen aerosoles utilizar campanas extractoras de gases; en el caso de someter muestras de nucleidos de ³⁵S a cambios térmicos con equipos termocicladores, deberá realizarse la apertura de esos viales en campanas extractoras y evitar cualquier inhalación

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/33PPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/phos33.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/P-33.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

³⁵S

Material radiactivo: Azufre Símbolo: ³⁵S

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) 48.8 keV (máximo 167.47 keV)
Tiempo de vida media [T_{1/2}]:

T_{1/2} Física: 87.44 días
 T_{1/2} Biológica: 623 días, 90 días en hueso
 T_{1/2} Efectiva: 44-66 días

Actividad específica: 42,707 Ci/g máxima (1,580 Tbq/g)

Rango de alcance Beta:

Aire: 26cm
Agua: 32 mm
Plástico: 0.25 mm

PROPIEDADES RADIACTIVAS:

Radiotoxicidad: 0.73 mrem/μCi (organismo) por ingestión
 2.48 mrem/μCi (organismo) por inhalación
Órgano crítico Testículos
Rutas de entrada Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel
Peligro radiológico Exposición interna: Cantidades en mCi no considerada como peligro
 Exposición externa: De cuidado

BARRERAS DE PROTECCIÓN

No requiere consideraciones especiales para cantidades del orden de mCi.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos en la orina siempre que exista algún accidente, incidente o cualquier tipo de contaminación, o se trabaje con más de 5 mCi.

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)
 Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo con método para conteo de ³⁵S

PRECAUCIONES ESPECIALES

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante.
 Muchos compuestos de ³⁵S y sus metabolitos son ligeramente volátiles y fácilmente pueden crear problemas de contaminación si no se controlan. Esto ocurre particularmente cuando el ³⁵S se adiciona a medios de cultivo y se incuban. Por lo tanto se recomienda utilizar recipientes para medios de cultivo bien tapados con algún material absorbente y desechar como material radiactivo sólido.
 En las operaciones de apertura de viales y en experimentos que generen aerosoles utilizar campanas extractoras de gases.
 Use siempre guantes protectores para evitar contaminación de la piel. Cambiar los guantes periódicamente.
 Las partículas beta de ³⁵S tienen emisiones de energías bajas.
 Los compuestos ³⁵S son con frecuencia productos volátiles, por lo que es necesario trabajar en campanas de extracción de gases con sistema de captura de partículas de carbón activado.
 Todos los residuos en el área de trabajo con ³⁵S deben considerarse como contaminados y manejarse como residuos con este radioisótopo. Mantener las áreas de trabajo libres de artículos innecesarios.
 Los residuos deben segregarse con residuos de T_{1/2} de 19 y hasta 65 días.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/35SPDF.pdf>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/S-35.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

³⁶Cl

Material radiactivo: Cloro Símbolo: ³⁶Cl

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (99% de abundancia) 710 keV

Tiempo de vida media [T½]:

T½ Física: 301000 días

T½ Biológica: 30 días

T½ Efectiva: 10 días

Rango de alcance Beta:

Aire: 204 cm

Tejido: 0.26 cm

PROPIEDADES RADIACTIVAS

Radiotoxicidad: 3.44 mrem/μCi por absorción por la piel

Órgano crítico Tejido superficial, cuerpo entero

Inhalación Pulmón

Ingestión Intestino

Rutas de entrada Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel

Peligro radiológico Exposición interna: Tomar precauciones

Exposición externa: Tomar precauciones

BARRERAS DE PROTECCIÓN

Usar mampara de lucita y plexiglas de un mínimo de 0.5 cm. Blindajes adicionales de plomo pueden ser necesarios para reducir radiaciones.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos de orina para detectar posible contaminación por ³⁶Cl, siempre que se sospeche algún accidente o problema por el uso de este material con actividades mayores a 2 mCi, entre 2 y 4 horas después del contacto.

Dosímetros portátiles:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)

Examen de contaminación

Utilizar contador G-M con líquido de centelleo, método para conteo de ³⁶Cl

PRECAUCIONES ESPECIALES

Usar pipetas de transferencia, bandejas de prevención de derrames y contar con material absorbente en caso de accidente.

Los compuestos volátiles deben manejarse en campanas con sistema de captura de gases.

El equipo de protección mínimo en el laboratorio son gafas de seguridad y guantes.

Los guantes deben revisarse continuamente y cambiarse periódicamente.

Las superficies de trabajo deben analizarse constantemente y descontaminarse por método.

Realizar bioensayos con periodicidad.

El ³⁶Cl puede representar un riesgo de exposición de dosis al cuerpo entero, que es el órgano crítico.

Al manejar cantidades de magnitud de milicurie o más no trabajar con envase abierto. El límite anual por ingestión es mCi 2.0.

REFERENCIAS

- University of Nebraska, Department of Environmental Health & Safety
http://ehs.unl.edu/sop/SP_SOP_Cl-36.pdf
- The University of Pittsburgh Radiation Safety
http://www.radsafe.pitt.edu/ManualTraining/Appendix%20C.htm#List_3_4
- Office Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/C136.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

⁴⁵CaMaterial radiactivo: Calcio Símbolo: ⁴⁵Ca

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta (100% de abundancia) 77 keV (máximo 257 keV)

Tiempo de vida media [T_{1/2}]:T_{1/2} Física: 162.61 días
T_{1/2} Biológica: 18,000 días (hueso)
T_{1/2} Efectiva: 163 días

Actividad específica: 17,800 Ci/g máxima (659 Tbq/g)

PROPIEDADES RADIATIVAS:

Radiotoxicidad: 19.4 mrem/μCi (hueso) y 3.2 mrem/μCi (organismo) por ingestión
35.8 mrem/μCi (pulmón) y 16.2 mrem/μCi (hueso) por inhalación

Órgano crítico Pulmón y hueso

Rutas de entrada Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel

Peligro radiológico Exposición interna: cantidades en mCi no considerada como peligro
Exposición externa: de cuidado

BARRERAS DE PROTECCIÓN

No requiere consideraciones especiales para cantidades del orden de mCi.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos en la orina siempre que exista algún accidente, incidente o cualquier tipo de contaminación.

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)
Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo con método para conteo para ⁴⁵Ca

PRECAUCIONES ESPECIALES

Evitar contacto con la piel, ingestión, inhalación o algún tipo de herida con punzocortante.
En las operaciones de apertura de viales y en experimentos que generen aerosoles utilizar campanas extractoras de gases.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/33PPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/phos33.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/P-33.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

⁵¹Cr

Material radiactivo: Cromo Símbolo: ⁵¹Cr

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Gamma 320 keV (9.8% abundancia)
 Rayos X 5 keV (22% abundancia)

Constante Gamma 0.023 mR/hr-mCi a 1.0 metro [6.32E-6 mSv/hr-MBq a 1.0 metro]

Actividad específica: 9.24E4 Ci/g [3.42E3 TBq/g] máx.

Tiempo de vida media [T½]:

 T½ Física: 27.7 días.
 T½ Biológica: 616 días.
 T½ Efectiva: 26.6 días.

PROPIEDADES RADIACTIVAS:

Radiotoxicidad: 0.145 mrem/μCi por ingestión
 0.334 mrem/μCi por inhalación

Órgano crítico Intestinos

Rutas de entrada Ingestión, inhalación, heridas y absorción por la piel

Peligro radiológico **Exposición interna:** Tomar precauciones, riesgos por inhalación e ingestión, cuidar heridas
 Exposición externa: piel expuesta a contaminación.

BARRERAS DE PROTECCIÓN

	Half Value Layer [HVL]	Tenth Value Layer [TVL]	
Barreras de plomo	2 mm	6.6 mm	1: HVL Espesor del plomo que se requiere para disminuir a la mitad (50%) la intensidad de la radiación gamma incidente
Barreras de concreto	2.8 cm	9.3 cm	
Barreras de Plexiglas	4.8 cm	16 cm	2: TVL Espesor del plomo que se requiere para disminuir a la décima (10%) parte la intensidad de la radiación gamma incidente

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar monitoreos siempre que se use el material o residuo radiactivo, utilizar dosímetro personal y/o dosímetro manual G-M

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)

Examen de contaminación

Detector de baja energía gamma [e.g. Ludlum 44-21]

PRECAUCIONES ESPECIALES

Los residuos de ⁵¹Cr deben almacenarse con barreras de plomo [0.6 cm de grosor]. Usar un G-M para comprobar hermeticidad a un metro (exposición de dosis < 2 mR/hr; de fondo). Evitar contaminación de la piel [absorción], ingestiones, inhalaciones y las posibles entradas por inyección accidental. Utilizar blindajes para reducir al mínimo la exposición mientras que utiliza ⁵¹Cr. Usar herramientas (pinzas o fórceps) para manejar fuentes de ⁵¹Cr y objetos contaminados. Evitar el contacto directo con la mano, utilizar guantes de goma plomados y delantales o placas de plomo.

REFERENCIAS

- The University of Pittsburgh Radiation Safety
http://www.radsafe.pitt.edu/ManualTraining/Appendix%20C.htm#List_3_5
- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/51CrPDF.pdf>
- University of Nebraska
http://ehs.unl.edu/sop/SP_SOP_Cr-51.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

⁸⁶Rb

Material radiactivo: Rubidio Símbolo: ⁸⁶Rb

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Beta 698 keV 8.8%
1077 keV 8.8%
Gamma y rayos x 1774 keV 91.2%

Constante Gamma 0.054 mrem/h-mCi a 1.0 metro [1.458E-5 mSv/hr-MBq a 1.0 metro]

Tiempo de vida media [T_{1/2}]: T_{1/2} Física: 18.7 días
T_{1/2} Biológica: 44 días
T_{1/2} Efectiva: 13.3 días

PROPIEDADES RADIATIVAS:

Radiotoxicidad: 6.86E-9 Sv/Bq (25 mrem/uCi) por ingestión [huesos]; 2.53E-9 efectiva
3.3E-9 Sv/Bq (12 mrem/uCi) por inhalación [pulmón]; 4.3E-9 Sv/Bq [hueso]

Órgano crítico Hueso y pulmones
Rutas de entrada Hueso por ingestión; hueso superficial y pulmón por inhalación.
Peligro radiológico **Exposición interna:** Tomar precauciones, riesgos por inhalación e ingestión, cuidar heridas
Exposición externa: No de cuidado.

BARRERAS DE PROTECCIÓN

Usar barreras o mamparas de plomo con un mínimo de 15 mm.
¹TVL: 45 mm

1: TVL Espesor del plomo que se requiere para disminuir a la mitad (50%) la intensidad de la radiación gamma incidente

Beta: Mamparas de plexiglas de 0.66 cm.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Realizar bioensayos de orina para detectar posible contaminación por ⁸⁶Rb entre 6 y 12 horas después del contacto, algún accidente o problema o por el uso de este material en niveles mayores a 5 mCi.

Dosímetros portátiles para seguimiento:
Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM)

Examen de contaminación
Utilizar contador con líquido de centelleo

PRECAUCIONES ESPECIALES

Utilizar dosímetro de protección cuando se experimente con material con niveles de actividades mayores a 1 mCi. En las operaciones de apertura de viales y en experimentos que generen aerosoles utilizar campanas extractoras de gases. Evitar contaminación en la piel [por absorción], riesgos por ingestión, la inhalación e inyección [tener cuidado por todas las rutas de ingreso]. Almacenar el ⁸⁶Rb (incluyendo residuos sólidos) usar barreras de plomo 1.3 cm de grosor; pueden ser necesarias placas de plomo. Y utilizar dosímetro G-M para comprobar hermeticidad (exposición de dosis < 2 mR/h de fondo). Usar blindaje para reducir al mínimo la exposición mientras que utiliza ⁸⁶Rb. Usar herramientas (pinzas y fórceps) para manejar las fuentes ⁸⁶Rb y los objetos contaminados; evitar el contacto directo con la mano. El rubidio es un metal de la tierra del álcali; la forma elemental reacciona (químicamente) violentamente con agua.

REFERENCIAS

- The University of Pittsburgh Radiation Safety
http://www.radsafe.pitt.edu/ManualTraining/Appendix%20C.htm#List_3_11
- Office Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/Rb-86.pdf

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

⁹⁰Sr

Material radiactivo: Estroncio

Símbolo: ⁹⁰Sr

PROPIEDADES FÍSICAS

Radiación primaria: **Beta** – 546 keV (100%)
⁹⁰**Y Betas** – 2,484 keV (~100%), 523 keV (<1%)keV
Vel. de dosis en piel: 3E2 mrem/h a 30 cm a 1 μCi [0.20 mSv/hr a 30 cm en 1 MBq]
Tiempo de vida media [T½]: 28.2 años
Actividad específica: 1.41E2 Ci/g [5.21E12 Bq/g]

PROPIEDADES RADIATIVAS:

Radiotoxicidad: Ingestión: 1.6E3 mrem/μCi [4.19E-7 Sv/Bq] Huesos
 Inhalación: 1.1E4 mrem/μCi [2.86E-6 mSv/Bq] Pulmones
Órgano crítico: Huesos [ingestión]; pulmones [inhalación]
Rutas de entrada: Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel
Peligro radiológico: **Exposición interna:** Tomar precauciones por lesiones internas causadas por inhalación o ingestión
Exposición externa: Tomar precauciones debido a absorción por la piel

BARRERAS DE PROTECCIÓN

Barreras de plexiglas de un grosor de 9.2 mm podría disminuir la rapidez de dosis a < 2 mR/h.

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Usar en todo momento un dosímetro personal y revisar las dosis mensuales para evitar exposiciones fuera de límites permisibles.

Examen de contaminación

Utilizar contador con líquido de centelleo.

Dosímetro recomendado

Dosímetro portátil:

Geiger-Mueller [e.g. Bicron PGM]

Pruebas de frotis:

Contador gamma o contador de líquido de centelleo

PRECAUCIONES ESPECIALES

Almacenar el ⁹⁰Sr detrás de una barrera de plexiglas de un mínimo de 12 mm para obtener una dosis [< 2 mR/h]. Utilizar herramientas (pinzas, fórceps; bloques de plástico) para manejar indirectamente fuentes sin blindaje y los recipientes potencialmente contaminados. Evitar el contacto directo con las manos. Asegurarse de trabajar detrás de mampara y barreras de plexiglas y no permitir el uso de fuentes sin equipo de trabajo adecuado.

REFERENCIAS

- University of North Carolina
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/90SrPDF.pdf>

HOJA DE DATOS DE SEGURIDAD

¹²⁵I

Material radiactivo: Yodo Símbolo: ¹²⁵I

PROPIEDADES FÍSICAS

Emisión: Gamma 35.5 KeV (abundancia del 7%)
Rayos x 27 KeV (abundancia del 113%)
Constante Gamma: 0.27 mR/h·mCi a 1 metro (7.432E-5 mSv/h·MBq1 metro)
Tiempo de vida media [T_{1/2}]:
T_{1/2} Física: 60.14 días
T_{1/2} Biológica: 120-138 días
T_{1/2} Efectiva: 42 días
Actividad específica: 17,300 Ci/g máxima (642 Tbq/g)

PROPIEDADES RADIATIVAS:

Radiotoxicidad: 3.44E-7 Sv/Bq (1773mrem/μCi) por ingestión [tiroides]
2.16E-7 Sv/Bq (799mrem/μCi) por inhalación [tiroides]
Órgano crítico Glándula tiroides
Rutas de entrada Ingestión, inhalación, herida profunda y superficial, absorción por la piel
Peligro radiológico Exposición interna y externa

BARRERAS DE PROTECCIÓN

Material: Plomo	HVL¹ 0.02 mm	TVL² 0.07 mm	1: HVL Espesor del plomo que se requiere para disminuir a la mitad (50%) la intensidad de la radiación gamma incidente 2: TVL Espesor del plomo que se requiere para disminuir a la décima (10%) parte la intensidad de la radiación gamma incidente
------------------------	-----------------------------------	-----------------------------------	---

MONITOREO DOSIMÉTRICO

Siempre se debe de monitorear la ropa (cuerpo y anillos) cuando haya indicios de contaminación por ¹²⁵I.
Realizar estudios principalmente en tiroides por contaminación con ¹²⁵I, realizar bioensayos tiroideos no antes de 6 horas, y hasta 72 horas al entrar en contacto con 1 mCi o más o si hay alguna sospecha de contaminación por ¹²⁵I.

Dosímetros portátiles para seguimiento:

Geiger-Mueller (e.g. Bicrom PGM, radiación tipo γ 0.03, 0.035 MeV) eficacia de blindaje
Detector de baja energía Gamma [e.g. Ludlum 44-21, ~19% eff. para ¹²⁵I] en revisiones por contaminación
Centelleo Beta (e.g. Ludlum 44-21)
Monitores de INa(Tl)
Prueba de frotis Contador de líquido de centelleo

Examen de contaminación

Emplear dosímetro personal (placa fotográfica, TLD o plumilla) t

Para determinar la dosis a extremidades

Dosimetría de anillo (TLD)

PRECAUCIONES ESPECIALES

Usar barreras de protección de plomo.
Evitar la preparación de soluciones ácidas que contengan o entren en contacto con ¹²⁵I, se propicia la volatilización.
Trabajar siempre en la campana extractora, certificando que cuente con filtro de carbón activado y utilizar cubrebocas o mascarilla para gases tóxicos al usar el material radioactivo y en especial al abrir los viales.
Cubrir los recipientes usados que contengan ¹²⁵I con papel para film hasta su nuevo uso o desecho.
Etiquetar todo recipiente en el que se esté utilizando ¹²⁵I y evitar moverlo fuera del área de la campana extractora.
Usar métodos que disminuyan la volatilidad del ¹²⁵I, como mantener pH alto, no abrir el vial fuera de la campana extractora, sumergir el material contaminado, como pipetas, buretas, jeringas en una cubeta que contenga una disolución de (Na₂S₂O₃, 0.1M), preparada con hidróxido de sodio (NaOH, 0.1M). Para estabilizar el radiofármaco, la administración de KI no radiactivos por vía oral es una práctica que tiene por objeto bloquear con ese compuesto, sitios libres en donde pudiera incorporarse el ¹²⁵I en la glándula tiroides, sólo se recomienda en caso de accidentes de ¹²⁵I y siempre con vigilancia médica.
La dosis que proporciona 1 GBq (27 mCi) de ¹²⁵I a una distancia de 1 m es de 4.1 mrem/h, 5 mCi de ¹²⁵I a una distancia de 50 cm es de 3.03 mrem/h.
Usar doble guante en cada mano y cambiarlos cada 20 minutos durante el tiempo de experimentación (este elemento puede traspasar el material del guante). Tener a la mano solución descontaminante para usar en caso de derrame, contaminación de superficies, piel, manos y antebrazos.

La apertura del vial se deberá hacer después de la prueba de frotis para determinar contaminación, en campana de extracción de gases para evitar la inhalación de gases o aerosoles generados por la diferencia de presiones entre el microclima del vial y la atmósfera.

REFERENCIAS

- The North Carolina Chapter of the Health Physics Society
<http://hpschapters.org/northcarolina/NSDS/125IPDF.pdf>
- Universidad de Kentucky
<http://ehs.uky.edu/radiation/isotopes/iodine.html>
- Universidad de Stanford
http://www.stanford.edu/dept/EHS/prod/researchlab/radlaser/RSDS_sheets/I-125_Inorganic.pdf

ANEXO III AUDITORÍAS INTERNAS

En esta sección se recomienda una lista de verificación para realizar las auditorías internas que la legislación en la materia exige. También puede utilizarse en estudios y modificaciones más profundas con el objetivo de detallar las medidas en el manejo de materiales y residuos radiactivos, basadas en la normatividad mexicana en materia de seguridad radiológica y residuos radiactivos. Se diseñaron de acuerdo con la **NOM-028-NUCL-2009**, Manejo de desechos radiactivos en instalaciones radiactivas que utilizan fuentes abiertas; la **NOM-035-NUCL-2000**, que establece los límites para considerar un residuo sólido como desecho radiactivo; la **NOM-39-NUCL-2011**, Especificación para la exención de prácticas y fuentes adscritas a alguna práctica, que utiliza fuentes de radiación ionizante, de alguna o de todas las comisiones reguladoras; la **NOM-012-STPS-1999**, relativa a las condiciones de seguridad e higiene en los centros de trabajo donde se produzcan, usen, manejan, almacenan o transporten fuentes de radiaciones ionizantes; y el Reglamento General de Seguridad Radiológica diseñado por la CNSNS.

Auditorías Internas

INFORMACIÓN GENERAL

- 1) ¿Los laboratorios que utilizan fuentes radiactivas avisan con anterioridad de su adquisición y, en su caso la generación del residuo respectivo?
- 2) ¿Qué controles existen dentro del instituto para la adquisición, almacenamiento y disposición del material radiactivo?
- 3) ¿Existe una organización interna definida en el manejo de los residuos radiactivos?
- 4) ¿Cuál es el procedimiento a seguir para manejar los materiales?
- 5) ¿Cuál es el procedimiento a seguir para disponer los residuos radiactivos?
- 6) ¿Se dan pláticas, conferencias o cursos acerca de la seguridad radiológica (incluyendo los residuos radiactivos y cada cuánto tiempo se realizan)?
- 7) ¿Cuál es la justificación técnica para los recipientes sugeridos y utilizados en los laboratorios?
- 8) ¿Qué hace el instituto con los residuos radiactivos una vez generados?
- 9) ¿Qué tipo de contenedores se utilizan para disponer los residuos sólidos radiactivos?
- 10) ¿Cuáles son las especificaciones técnicas de las bolsas (calibre, color, etcétera)?
- 11) ¿Para los residuos líquidos radiactivos se utilizan recipientes especiales?
- 12) ¿Cuáles son las especificaciones técnicas del contenedor donde se encuentran sus residuos radiactivos líquidos?
- 13) En caso de utilizar recipientes de vidrio, ¿se utiliza un recipiente secundario que los contenga?
- 14) ¿Se generan residuos radiactivos sólidos que además tengan características biológico-infecciosas o químicas (corrosivo, reactivo, explosivo, tóxico, inflamable)?
- 15) ¿Qué procedimiento se sigue con los residuos peligrosos?
- 16) ¿Se tienen los registros de cada uno de los recipientes de residuos radiactivos líquidos, así como los vertimientos que se realizan (si es que se realizan)?
- 17) ¿Qué datos contiene el registro?
- 18) ¿Se tiene autorización de la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias para el manejo del material y los residuos radiactivos?
- 19) ¿Existen personas menores de 18 años que tengan contacto con materiales o residuos radiactivos?

- 20) ¿Existen personas que, por prescripción médica, no reúnan las condiciones para el manejo de materiales o residuos radiactivos?
- 21) ¿Existen mujeres en periodo de gestación o de lactancia ocupacionalmente expuestas a radiaciones por material o residuos radiactivos o fuentes cerradas de equipos en las instalaciones?
- 22) ¿Se hacen inventarios de los experimentos en los que se generan residuos radiactivos o se utilizan fuentes cerradas (equipos)?
- 23) ¿Hay estudios de riesgo potencial de acuerdo con las características radiológicas de las fuentes abiertas manejadas?
- 24) ¿Existe algún manual de procedimientos y con qué bases fue hecho?
- 25) ¿Existe un plan de emergencias de seguridad radiológica y en qué se basa?
- 26) El personal, ¿tiene algún tipo de protección personal para el uso de material radiactivo?
- 27) ¿El personal tiene equipo de detección de radiación ionizante?
- 28) ¿Se cumple o no con los límites de dosis?
- 29) ¿Existen áreas para descontaminación del personal en caso de que se contaminen con fuentes radiactivas?
- 30) ¿Hay instalados en algún lugar equipos e instrumentos de seguridad para la medición y control de la radiactividad?
- 31) ¿Está identificado el personal ocupacionalmente expuesto?
- 32) ¿Se tienen identificadas las fuentes abiertas de radiación?
- 33) ¿Se hacen evaluaciones médicas al personal expuesto?
- 34) ¿Con qué periodicidad?
- 35) ¿Se tienen registros?

EN LAS INSTALACIONES CON FUENTES RADIATIVAS

- 1) La zona del laboratorio donde se maneja material radiactivo, ¿está aislada del resto del laboratorio y tiene acceso restringido?
- 2) ¿Se tiene un registro del uso de material radiactivo en el laboratorio con los siguientes datos?

• Actividad inicial, fecha	Sí	No
• Actividad extraída, fecha	Sí	No
• Usuario	Sí	No
• Actividad de los residuos	Sí	No
• Otros		
- 3) ¿Qué controles existen dentro del laboratorio para el uso y residuos de materiales radiactivos?
- 4) ¿Sabe cómo manejar los residuos radiactivos?
- 5) ¿Cuál es el procedimiento que sigue para manejar los materiales radiactivos dentro del laboratorio?
- 6) ¿Cuáles son los materiales radiactivos que se utilizan en el laboratorio?
- 7) ¿Existe algún equipo con fuente cerrada con radioisótopos?
- 8) ¿Cuáles son los experimentos en los que se utilizan materiales radiactivos? ¿Pueden proporcionar la técnica del experimento y las dosis a las que se está expuesto?
- 9) ¿En cuáles experimentos se generan residuos radiactivos?
- 10) ¿Existe algún mecanismo para disminuir los residuos radiactivos dentro del laboratorio?
- 11) ¿Se separan de alguna forma los residuos radiactivos en el laboratorio?

- 12) ¿Disminuye su actividad en la experimentación?
- 13) ¿Existe alguna otra característica de cuidado además de su actividad en el residuo que genera (residuo químico o residuo biológico infeccioso)?
- 14) ¿Qué procedimiento sigue con ellos?
- 15) ¿Separa los residuos radiactivos de acuerdo con el material radiactivo original?
- 16) ¿Qué conocimiento sigue para conocer la actividad de los residuos generados?
- 17) ¿Separa el material (desechable o no) que tuvo contacto con material radiactivo y lo desecha como residuo radiactivo?
- 18) ¿Cuenta con recipientes especiales para depositar los residuos radiactivos sólidos?
- 19) ¿El contenedor tiene el símbolo de radiación?
- 20) ¿Mantiene abierto o cerrado el contenedor cuando éste se encuentra sin uso?
- 21) ¿Sabe si el o los residuos radiactivos sólidos que maneja tienen vida media menor de un año?
- 22) ¿Separa los materiales que tienen vida media menor a un año y los que la sobrepasan?
- 23) ¿Separa los residuos de ^{14}C y ^3H en recipientes separados de los demás (sean sólidos o líquidos)?
- 24) ¿El recipiente de los residuos sólidos que se encuentra en su laboratorio tiene bolsa?
- 25) ¿Cómo es la bolsa físicamente?
- 26) ¿Ha tenido algún problema con el contenedor donde se encuentran sus residuos radiactivos?
- 27) ¿Genera residuos radiactivos líquidos?
- 28) ¿Cómo los maneja en el laboratorio?
- 29) ¿Sabe si el o los residuos radiactivos líquidos que maneja tienen vida media menor de un año?
- 30) ¿Separa los materiales líquidos que tienen vida media menor a un año y los que lo sobrepasan?
- 31) ¿Ha notado que el material del contenedor reacciona con los residuos radiactivos líquidos?
- 32) ¿Los recipientes de residuos radiactivos líquidos tienen el símbolo de radiactividad y tienen el letrero del tipo de residuos que contienen, cuentan con tapa roscada y disco de sello?
- 33) ¿Los contenedores de residuos radiactivos son de vidrio?
- 34) En caso de que así sea, ¿tienen un recipiente secundario que los proteja?
- 35) ¿Mantiene abierto o cerrado el contenedor de residuos radiactivos líquidos?
- 36) ¿Descarga residuos radiactivos líquidos al drenaje siguiendo la normatividad existente?
- 37) ¿Tiene algún manual de procedimientos para el manejo de los residuos y con qué bases fue hecho?
- 38) ¿Conoce si existe algún plan de emergencias de seguridad radiológica y se llevan a cabo simulacros de emergencia?
- 39) ¿Usa algún tipo de protección personal para el manejo de material radiactivo?
- 40) ¿Cuenta con equipo de detección de radiación ionizante?
- 41) ¿Conoce los límites de dosis para el POE?
- 42) ¿Se dan pláticas, conferencias o cursos acerca de los residuos radiactivos para POE (cada cuánto tiempo)?

ALMACÉN

- 1) ¿Existe algún control en la adquisición y disposición de material radiactivo en el almacén?
- 2) ¿El personal administrativo tiene conocimiento para manejar residuos radiactivos?
- 3) ¿Se tiene registro de los residuos que se ingresan al almacén de adquisiciones?
- 4) ¿Se tienen registros de los equipos en desuso que se tienen y/o que se han retirado de las instalaciones?
- 5) ¿Se tienen registros de los residuos radiactivos generados en las instalaciones?
- 6) ¿Todo recipiente que ingresa contiene la siguiente información?

a) Fecha de retiro del área de generación	Sí	NO
b) Lugar donde se recolectó	Sí	NO
c) Radionúclido	Sí	NO
d) Actividad, concentración de actividad, actividad específica	Sí	NO
e) Nivel de radiación a contacto y a un metro	Sí	NO
f) Composición química/forma física	Sí	NO
g) Masa y/o volumen	Sí	NO
h) El símbolo internacional de radiación ionizante	Sí	NO
- 7) ¿El almacén de residuos radiactivos es exclusivo para éstos?

Sí	NO
----	----
- 8) Si no es exclusivo, ¿qué otros residuos o material se almacenan junto con los residuos radiactivos?
- 9) ¿Se colocan los residuos radiactivos junto con desechos combustibles y/o inflamables?

Sí	NO
----	----
- 10) Si se colocan, ¿cuál es la actividad de los residuos?
- 11) ¿Cuál es el volumen de los recipientes de líquidos almacenados?
- 12) ¿El almacén de residuos radiactivos está aislado?

Sí	NO
----	----
- 13) ¿Cuál es el radio de separación con los edificios más cercanos?
- 14) ¿De qué material son las paredes del almacén de residuos radiactivos y cuál es su grosor?
- 15) ¿El almacén tiene barreras de contención de líquidos?
- 16) ¿El almacén cuenta con ventilación?
- 17) ¿El almacén tiene tubería de desagüe o tomas de agua?
- 18) ¿Dónde se depositan los recipientes de residuos radiactivos dentro del almacén?
- 19) ¿De qué material son los recipientes de residuos líquidos almacenados?
- 20) ¿Los recipientes de líquidos en el almacén se colocan sobre bandejas de material absorbente?

Sí	NO
----	----
- 21) ¿Dentro del almacén se separan los residuos radiactivos de acuerdo con su tipo?
- 22) ¿Se tienen registros de los residuos radiactivos que cada laboratorio ingresa al almacén?
- 23) ¿Contienen la siguiente información estos registros?
- 24) Inventario de entrada de residuos

Núm. de identificación del recipiente	Sí	No
Fecha de recepción	Sí	No
Firma del responsable del almacén	Sí	No
Radionúclido	Sí	No
Actividad a la fecha de recepción	Sí	No
Descripción general de residuo	Sí	No
Actividad a la fecha de liberación	Sí	No
Firma del responsable de la liberación o envío	Sí	No
Fecha de liberación al drenaje	Sí	No

Fecha de liberación a los residuos sólidos	Sí	No
Fecha de liberación a otra instalación	Sí	No

ENVÍO DE LOS RESIDUOS RADIATIVOS A OTRA INSTALACIÓN

- 1) ¿Quién recibe los materiales radiactivos que generan?
- 2) ¿Cuenta con toda la reglamentación para su transporte, manejo y disposición?
- 3) ¿Se tienen registros de los residuos radiactivos, fuentes abiertas o cerradas que se envían?

Sí	NO
----	----
- 4) ¿Estos registros contienen la siguiente información?
- 5) Inventario de entrada de residuos

Núm. de identificación del recipiente	Sí	No
Fecha de recepción	Sí	No
Firma del responsable del almacén	Sí	No
Radionúclido	Sí	No
Actividad a la fecha de recepción	Sí	No
Descripción general de residuo	Sí	No
Actividad a la fecha de liberación	Sí	No
Firma del responsable de la liberación o envío	Sí	No
Fecha de liberación al drenaje	Sí	No
Fecha de liberación a los residuos sólidos	Sí	No
Fecha de liberación a otra instalación	Sí	No

LIBERACIÓN DE RESIDUOS RADIATIVOS

- 1) ¿Se hace algún tipo de tratamiento a los residuos radiactivos que se generan?
- 2) ¿Cómo disponen los sólidos?
- 3) ¿Cómo disponen los líquidos?
- 4) ¿Se hace alguna descarga de residuos líquidos al drenaje?
- 5) ¿Se envía algún bulto a los residuos sólidos después de su decaimiento?
- 6) ¿Cuentan con los permisos de la CNSNS?

FUENTES CERRADAS

- 1) ¿Cuenta con...?
 - Copia de certificado de fabricación expedido por la empresa fabricante.

Sí	No
----	----
 - Copia del certificado de calibración (verificación de actividad de la fuente) expedido por un laboratorio autorizado por la CNSNS.

Sí	No
----	----
 - Copia del certificado (o reporte) de la última prueba de fuga hecha por un laboratorio de la CNSNS.

Sí	No
----	----
 - Copia completa de licencia de uso y posesión de material radiactivo, expedido por la CNSNS.

Sí	No
----	----
 - Copia de las fuentes aseguradas por la CNSNS.

Sí	No
----	----
 - Diagrama de las instalaciones con dimensiones del equipo.

Sí	No
----	----
- 2) Conoce el peso del equipo y cuál es fuente radiactiva embebida.

Sí	No
----	----
- 3) Cuenta con los manifiestos de manejo y transporte de la fuente radiactiva.

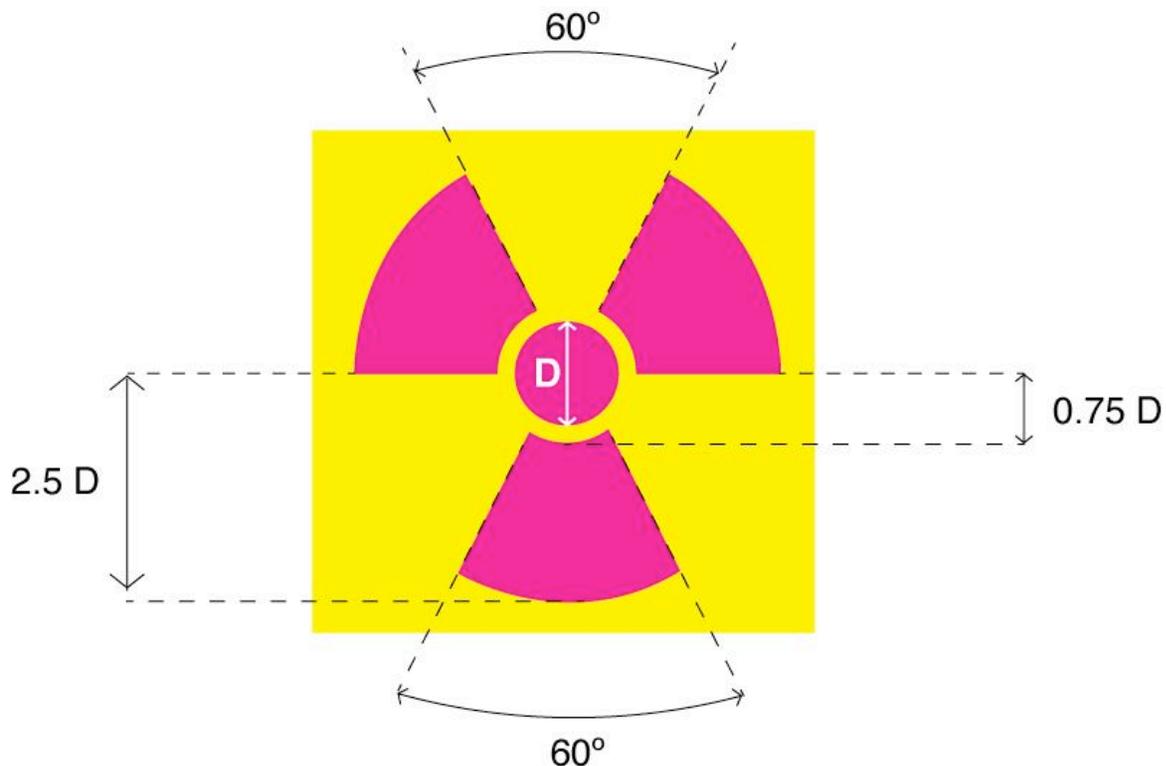
Sí	No
----	----

ANEXO IV
SEÑAL DE SEGURIDAD E HIGIENE RELATIVA A RADIACIONES IONIZANTES
SÍMBOLO UNIVERSAL DE RADIATIVIDAD

Las características de las señales de seguridad e higiene que deben ser utilizadas en los centros de trabajo para advertir la presencia de radiaciones ionizantes son:

- a) Forma geométrica: cuadrada;
- b) Color de seguridad: amarillo;
- c) Color contrastante: magenta;
- d) Símbolo: el color del símbolo debe ser el magenta; este símbolo debe cumplir con la forma y dimensiones que se muestran en la figura AN1.

Figura AN1. Señal para indicar presencia de radiaciones ionizantes



Fuente: Norma Oficial Mexicana NOM-026-STPS-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías.

ANEXO V
BITÁCORAS DE MANEJO DE MATERIALES Y RESIDUOS RADIATIVOS

Nombre del responsable del manejo de residuos en el almacén: _____

Folio: _____

ENTRADA DE RESIDUOS AL ALMACÉN TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Fecha de entrada	Hora de entrada	Nombre del radionúclido	Estado físico (líquido, sólido, otro)	Actividad calculada por el generador <i>Ci</i>	Volumen o cantidad	T _{1/2}	Fecha de adquisición del material por parte del proveedor y no de pedido	Actividad original de empaque proveedor <i>Ci</i>	Laboratorio de origen	Tasa de dosis a contacto cGy/h o mR/h	Tasa de dosis a 1 metro cGy/h o mR/h	Tiempo estimado de residencia de residuos en el almacén	Nombre y firma del responsable del manejo de residuos

SALIDA DE RESIDUOS AL ALMACÉN TEMPORAL DE RESIDUOS PELIGROSOS

Fecha de salida	Hora de salida	° del radionúclido	Estado físico (líquido, sólido, otro)	Actividad calculada al salir del almacén <i>Ci</i>	Volumen o cantidad	T _{1/2}	Fecha de adquisición del material por parte del proveedor y no de pedido	Actividad original de empaque proveedor <i>Ci</i>	Laboratorio de origen	Tasa de dosis a contacto cGy/h o mR/h	Tasa de dosis a 1 metro cGy/h o mR/h	Tiempo estimado de residencia de residuos en el almacén	Nombre y firma del responsable del manejo de residuos

Continuación

BITÁCORA DE MANEJO DE MATERIALES RADIATIVOS EN EL LABORATORIO

Laboratorio

Nombre del responsable del laboratorio

T_{1/2} de radionúclido:

Actividad original de empaque proveedor: Ci

Nombre del proveedor y teléfono:

Fecha de uso del material	Hora	Nombre del radionúclido	Estado físico (líquido, sólido, otro)	Actividad extraída <i>Ci</i>	Volumen o cantidad	Observaciones
Suma de actividad extraída Ci						
Volumen o peso final extraído						
Nombre del responsable de la disposición de residuos del laboratorio						

ANEXO VI
APÉNDICE A (NOM-018-NULC-1995)
MANIFIESTO DE EMBARQUE

Registros

En caso de que los bultos de residuos radiactivos se trasladen a una instalación para su tratamiento y/o acondicionamiento, el generador del residuo debe emitir por cada uno de ellos, el manifiesto de embarque contenido en el apéndice normativo A.

El generador de los bultos de residuos radiactivos debe conservar el original del manifiesto del embarque por al menos un periodo de 10 años.

El receptor de los mismos debe conservar una copia del manifiesto de embarque por un periodo que la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias establezca.

MANIFIESTO DE EMBARQUE

Núm. identificación del bulto: _____

Fecha: _____

RESIDUOS RADIATIVOS QUE SE TRASLADARÁN A UNA INSTALACIÓN PARA SU ACONDICIONAMIENTO Y/O TRATAMIENTO DEL GENERADOR DEL RESIDUO RADIATIVO

Nombre o razón social: _____

Dirección: _____

C.P. _____ Tel. _____

Número de licencia emitida por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias: _____

DEL TRANSPORTISTA

Nombre o razón social: _____

Dirección: _____

C.P. _____ Tel. _____

Número de permiso emitido por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias: _____

DEL RECEPTOR DEL RESIDUO RADIATIVO

Nombre o razón social: _____

Dirección: _____

C.P. _____ Tel. _____

Núm. de permiso emitido por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias: _____

Continuación

INFORMACIÓN SOBRE EL BULTO CON RESIDUOS RADIATIVOS

1. Descripción física del residuo.
2. Volumen y peso.
3. Identidad y cantidad de los radionúclidos contenidos en el residuo (actividad y concentración de actividad para cada uno de los radionúclidos) y la fecha de determinación.
4. La actividad total.
5. Método utilizado y número de autorización de Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias para dicho método.
6. Contenido en Bq/m³ (Ci/m³) de:

Tritio: _____ ¹⁴C: _____ ⁹⁹Tc: _____ ¹²⁹I: _____

7. Anexar la información referente al transporte del material radiactivo.

8. Anexar la información adicional requerida por el receptor.

Los suscritos declaramos, bajo protesta de decir la verdad, que los datos asentados en el presente manifiesto son ciertos, que el residuo radiactivo está apropiadamente descrito y cuantificado conforme a los requerimientos establecidos en la legislación vigente.

ENCARGADO DE SEGURIDAD RADIOLÓGICA

REPRESENTANTE LEGAL

NOMBRE: _____

NOMBRE: _____

FIRMA: _____

FIRMA: _____

FECHA: _____

FECHA: _____

PARA SER LLENADO POR EL RECEPTOR DEL BULTO

Se acepta el bulto () No se acepta el bulto ()

Personal autorizado para la recepción del bulto de residuos radiactivos.

NOMBRE: _____

FIRMA: _____

FECHA: _____

En caso de no aceptarse el bulto de residuos radiactivos, describa las razones:

Fuente: NOM-018-NUCL-1995, Métodos para determinar la concentración de actividad y actividad total en los bultos de desechos radiactivos.

Guía técnica de acción para residuos radiactivos es una obra editada por la Facultad de Química. Se utilizaron en la composición las familias Arial, Avalon y Times New Roman.
Tipo de impresión PDF

La publicación de esta obra fue posible gracias al apoyo de la Coordinación de Comunicación, a través de los Departamentos de Editorial y de Información (Taller de Imprenta).

Responsable editorial: Brenda Álvarez Carreño.

Diseño de portada: Vianey Islas Bastida y Víctor Alcántara Concepción.

Diseño de interiores: Víctor Alcántara Concepción.

Publicación autorizada por el Comité Editorial de la Facultad de Química

Agosto de 2014

DIRECTORIO

Dr. José Narro Robles
Rector

Dr. Eduardo Bárzana García
Secretario General

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Secretario Administrativo

COMITÉ ASESOR DE SALUD, PROTECCIÓN CIVIL Y MANEJO AMBIENTAL

Ing. Leopoldo Silva Gutiérrez
Presidente del Comité Asesor

Dr. Héctor Fernández Varela Mejía
Director General de Servicios Médicos y Secretario Técnico del Comité Asesor

Enrique Balp Díaz
Secretario de Servicios a la Comunidad

Lic. Alejandro Fernández Varela Jiménez
Director General de Atención a la Comunidad Universitaria

Lic. Luis Raúl González Pérez
Abogado General

Mtro. Pablo Tamayo Castroparedes
Director General de Patrimonio Universitario

Lic. Eduardo Cayetano Cacho Silva
Director General de Servicio Generales

Ing. Ana De Gortari Pedroza
Directora General de Obras y Conservación

LAE Juan Gustavo Ramos Fuentes
Director General de Presupuesto

Lic. Cuauhtémoc Solís Torres
Director de Normatividad y Desarrollo Humano de la Dirección de Servicios Médicos

Dra. María Amanda Gálvez Mariscal
Coordinadora del Programa Universitario de Alimentos (PUAL)

Dr. Joaquín López Bárcena
Coordinador del Programa Universitario de Investigación en Salud (PUIS)

Mtra. Mireya Imaz Gispert
Coordinadora del Programa Universitario de Medio Ambiente (PUMA)

