



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
MAESTRIA EN ESTUDIOS AMBIENTALES

ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE LOS  
DESECHOS RADIACTIVOS EN GUATEMALA

BIBLIOTECA  
UNIVERSITARIA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Mildred Angélica Jiménez Arango de Mendoza

Guatemala, 2002

**ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE LOS  
DESECHOS RADIACTIVOS EN GUATEMALA**

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
FACULTAD DE CIENCIAS Y HUMANIDADES  
DEPARTAMENTO DE BIOLOGIA  
MAESTRIA EN ESTUDIOS AMBIENTALES**

**ANÁLISIS DEL TRATAMIENTO DE LOS  
DESECHOS RADIACTIVOS EN GUATEMALA**

**Mildred Angélica Jiménez Arango de Mendoza**

**Trabajo de investigación presentado para optar al grado académico  
de Maestría en Estudios Ambientales**

**BIBLIOTECA  
DE LA  
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

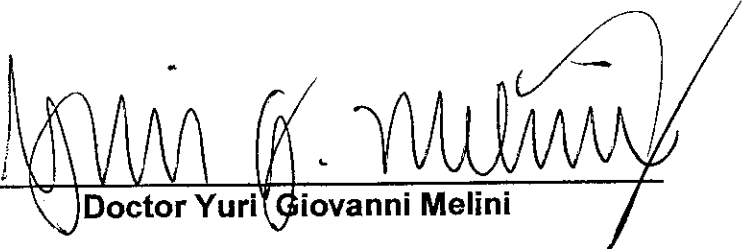
**Guatemala, 2002**

Vo.Bo.:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Doctora Margaret Dix

TRIBUNAL:

(f)   
\_\_\_\_\_  
Doctora Margaret Dix

(f)   
\_\_\_\_\_  
Doctor Yuri Giovanni Melini

(f)   
\_\_\_\_\_  
MSc. Ing. Otto Ruiz Balcárcel

Fecha de aprobación: 11 de noviembre de 2,002

## CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	vi	
LISTA DE CUADROS	vii	
LISTA DE GRÁFICAS	vii	
LISTA DE FIGURAS	vii	
LISTA DE APENDICES	viii	
RESUMEN	ix	
<b>CAPÍTULOS</b>		
I	Introducción	1
II	Justificación	3
III	Antecedentes	4
	A. Generación de desechos radiactivos	4
	B. Clasificación de desechos radiactivos	6
	C. Gestión de desechos radiactivos	10
	D. Etapas básicas de la gestión de desechos radiactivos	12
	E. Reglamentación	23
IV	Planteamiento de la hipótesis	26
V	Objetivos de la investigación	26
VI	Metodología	27
VII	Resultados	30
VIII	Discusión	39
IX	Conclusiones	43
X	Recomendaciones	44
XI	Bibliografía	45
XII	Apéndices	49

## AGRADECIMIENTOS

Le agradezco a Dios y a la Virgen María, por haberme dado salud y conocimientos para culminar mis estudios de la Maestría.

Le agradezco a mi familia, principalmente a mis padres Alfonso Jiménez y Conchita de Jiménez, por su apoyo, amor y confianza, durante todos mis estudios y a mi esposo, Freddy Mendoza, por su tolerancia en mis momentos de ausencia y finalmente les dedico esta tesis a mis hijos Diego y Rodrigo, como resultado de un esfuerzo entre todos.

Le agradezco a los Ministerios de Energía y Minas y de Finanzas Públicas de Guatemala, por haberme dado la oportunidad de estudiar esta Maestría por medio de una beca, especialmente a los Ministros Ing. Leonel López Rodas, Ing. Julio Campos e Ing. Raúl Archila.

Así mismo, agradezco a la Dirección General de Energía, especialmente a Ing. Thomas Henry Leiva, Ing. Rudy Nájera y a la Licda. Diana Freire por autorizar realizar mis estudios y al Departamento de Protección Radiológica, por permitir efectuar la investigación y análisis en los archivos correspondientes, principalmente a la Señora Patricia Gómez Ordóñez por compartir sus conocimientos, experiencias en el tema de Desechos Radiactivos y por su amistad incondicional.

Les agradezco a mis asesores de tesis Dra. Margaret Dix, Dr. Yuri Giovanni Melini y al MSc. Otto Ruiz Balcárcel, por el tiempo dedicado a este trabajo y por sus enseñanzas.

Le agradezco al Ing. Enrique Moller, por alentarme y darme la mejor razón para finalizar este trabajo de tesis.

Les agradezco a las Licenciadas Stalinal Martínez y Flory Maza, por generar en mí el deseo de seguir adelante, a pesar de los contratiempos que se pudieran dar en el transcurso de la beca.

Les agradezco a mis compañeros de estudio: Ismael, Rodolfo, Luis, Maco, Luis Morataya, Nadia (cuacui), Elvia, Mariajo, Ivan y Diana, por haberme enseñado a trabajar en equipo y por haber pasado tan buenos momentos juntos.

## LISTA DE CUADROS

Cuadro 1.	Características físico-radiactivas de radionucleidos utilizados frecuentemente en Guatemala. 2002.	6
Cuadro 2.	Clasificación OIEA de los residuos con vistas a su almacenamiento.	7
Cuadro 3.	Desechos de corto período de semidesintegración	9
Cuadro 4.	Desechos de largo período de semidesintegración	9
Cuadro 5.	Principios básicos para la gestión de desechos radiactivos	12
Cuadro 6.	Uso de material radiactivo en Guatemala 2002	30
Cuadro 7.	Número de fuentes selladas empleadas en Guatemala por el área de industria	32
Cuadro 8.	Fuentes en desuso ubicadas en la Dirección General de Energía	36
Cuadro 9.	Operación de las variables	50

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Etapas básicas de la gestión de desechos radiactivos.	13
-----------	---	----

## LISTA DE GRAFICAS

Gráfica 1.	Distribución por áreas de acuerdo al uso de material radiactivo en Guatemala. 2002.	31
------------	---	----

## LISTA DE APÉNDICES

Apéndice 1	Etiqueta proporcionada por la Autoridad Regulatoria Nacional a los generadores de desechos radiactivos	49
Apéndice 2.	Operacionalización de variables	50
Apéndice 3.	Cuestionarios	51
Apéndice 4.	Hojas de cotejo	53
Apéndice 5.	Glosario	57
Apéndice 6.	Reglamentación sobre desechos radiactivos en Guatemala	59
Apéndice 7.	Acrónimos	60

## RESUMEN

Se analizó el tratamiento de los desechos radiactivos generados en las prácticas de industria y medicina en la República de Guatemala. El análisis se realizó en veintidós industrias y diez y ocho centros hospitalarios, que hacen uso de dicho material. Se comprobó que no se está utilizando material radiactivo en investigación ya que los proyectos que existían fueron concluidos y no se les dio seguimiento.

De las áreas evaluadas (industria y medicina), se observó que los radioisótopos más utilizados en el país son el Yodo 125 ( $^{125}\text{I}$ ), el Yodo ( $^{131}\text{I}$ ), el Tecnecio 99metastable ( $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ), Estroncio 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), y Cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ).

En nuestro país, los desechos son clasificados de acuerdo al Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivos, emitido el 04 de septiembre de 1998, (Acuerdo Gubernativo No. 559-98), esto es, según su período de semidesintegración y con base en esta característica, se le da el tratamiento correspondiente, ya sea por la institución que los genera o por la Dirección General del Energía del Ministerio de Energía y Minas (DGE-MEM), quien a nombre del Gobierno, es la Autoridad Regulatoria Nacional (ARN).

En industria, se comprobó que, el 100 % de las instituciones utilizan fuentes selladas, y el procedimiento para gestionarlas consiste en devolverlas a su país de origen cuando han decaído, este procedimiento es justamente lo establecido por la reglamentación vigente en el país.

En medicina (radioterapia), se hace uso de fuentes selladas, cuyo tratamiento difiere al de la industria, ya que dichas fuentes fueron adquiridas antes de que se emitiera la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Decreto Ley No. 11-86).

En medicina nuclear se verificó que se emplean fuentes no selladas, por lo que el tratamiento de los desechos se realiza con base en los procedimientos establecidos en el Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivos.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las visitas realizadas, se concluye que el tratamiento de los desechos radiactivos en Guatemala (medicina e industria), se realiza poniendo en práctica los procedimientos establecidos en la reglamentación vigente en nuestro país, por lo que se rechaza la hipótesis planteada.

## I. INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente investigación consistió en realizar un análisis del tratamiento de los desechos radiactivos generados en Guatemala, para llegar a determinar si cumplen con los requisitos necesarios para su gestión, ya que de no ser así, se estaría contaminando a los seres humanos y al ambiente.

El uso de material radiactivo en nuestro país está reglamentado por la Ley para el Control, Uso y Aplicaciones de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Decreto Ley No. 11-86, Ley Nuclear, emitida por el Jefe de Estado, el 10 de enero de 1986), la cual hace mención que el ente encargado de velar por la gestión de estos desechos es el Ministerio de Energía y Minas, a través de la Dirección General de Energía, que actúa como la Autoridad Regulatoria Nacional (ARN).

Como complemento a la Ley Nuclear, en el año 1992, se emitió el Reglamento de Licencias en Materia de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Acuerdo Gubernativo No. 989-92), por medio del cual se realizaron los procedimientos para emitir las primeras autorizaciones o licencias para el uso de material radiactivo; dicho reglamento adolecía de varios requerimientos técnicos y legales, por lo que fue derogado el 14 de febrero del 2001, cuando se publicó el Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Acuerdo Gubernativo No. 55-2001).

Paralelo a este Reglamento de Licencias (Acuerdo Gubernativo No. 989-92, ya derogado), y como soporte a la Ley Nuclear, se publicó el 4 de septiembre de 1998, el Reglamento para la Gestión de los Desechos Radiactivos (Acuerdo Gubernativo No. 559-98), el cual tiene como objetivo primordial darle un adecuado manejo a los desechos radiactivos que se generan en el país.

Este Reglamento fue la base legal para realizar la presente investigación, ya que en Guatemala, se producen desechos radiactivos por utilización de material radiactivo en diferentes prácticas, tales como la medicina (radiodiagnóstico y

radioterapia), la industria (gammagrafía industrial, perfilaje de pozos petroleros, medidores de nivel líquido, esterilización de la mosca del mediterráneo, etc.), la investigación (salud, industria y agricultura) y otros.

De acuerdo a los resultados obtenidos y a las visitas realizadas, se concluye que en Guatemala, el tratamiento que se le da a los desechos radiactivos generados en medicina e industria, se realiza conforme lo emitido en el Reglamento de Desechos Radiactivos, por lo que la hipótesis planteada inicialmente es rechazada.

De lo anterior se recomienda que la ARN, realice inspecciones en industria, medidores industriales, perfilaje de pozos e irradiadores como mínimo una vez al año, mientras que en gammagrafía industrial se realice cada seis meses, esto es debido al uso y seguridad de las fuentes selladas empleadas.

Con relación a la medicina, se recomienda que se realicen en los laboratorios que practican radioinmunoensayos, inspecciones cada dos años ya que la cantidad de material radiactivo es muy pequeña, sin embargo, cuando se realizan tratamientos con material radiactivo, se deberían inspeccionar las áreas como mínimo cada seis meses.

## II. JUSTIFICACIÓN

Al igual que otras actividades humanas, el uso de material radiactivo produce desechos, que reciben el nombre de desechos radiactivos. La manipulación de éstos requiere de una gestión especial, con el alto grado de contaminación que pueden llegar a producir y provocar efectos adversos en la salud humana o el medio ambiente ahora y en el futuro (Balek, 1994)

Derivado de la importancia de la gestión de desechos radiactivos, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), ha elaborado reglamentos, normas y directrices relacionadas con el tema. Dicha documentación ha sido proporcionada a los países miembros del OIEA, con el objetivo de que sean adaptadas y aplicadas de acuerdo a las necesidades de cada país, en tal sentido, Guatemala, como país miembro del OIEA, ha emitido la reglamentación correspondiente para la gestión adecuada de estos desechos, misma que indica los procedimientos a emplear para poder aplicarlo. De no ser así, los desechos generados serían descargados al ambiente sin ningún control llegando a contaminar el aire, el agua, el suelo y a los seres humanos (OIEA, 1996a).

De aquí la importancia de realizar una investigación que verifique por medio de un análisis, si dichos procedimientos son realizados por los usuarios del material radiactivo en las diferentes prácticas, de tal forma que se proteja la salud humana y el ambiente. (Ahora y en el futuro, sin imponer una carga indebida a las generaciones futuras).

### III. ANTECEDENTES

#### A. GENERACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS:

El uso de material radiactivo desde principios del siglo XX, ha generado una gran gama de aplicaciones a la investigación científica y tecnológica en la medicina, la industria, el comercio y la generación de energía. Dichas aplicaciones generan directamente desechos radiactivos (OIEA, 1996a).

Los desechos radiactivos adoptan diversas formas dependiendo de las características físicas y químicas de la fuente que los genera. Con relación a las características físicas, se puede mencionar la forma de la fuente radiactiva la cual puede ser fuente sellada, fuente no sellada, y fuente sólida. Se entiende por fuentes selladas aquellas que están contenidas en un recipiente sellado y no pueden dispersarse, mientras que las no selladas no están contenidas en ningún recipiente o contenedor y pueden ser fácilmente dispersadas. (OIEA, 1996a)

Entre las características químicas de los desechos, se pueden mencionar la concentración, radiotoxicidad, período de semidesintegración, estado líquido, sólido o gaseoso, entre otras. En tal sentido, los desechos radiactivos pueden tener formas líquidas, sólidas o gaseosas (OIEA, 1996a).

Los desechos de forma líquida incluyen los provenientes de instalaciones de hospitales, clínicas y centros de investigación con fuentes no selladas. Entre los que se presentan en forma gaseosa se pueden mencionar los gases de escape del sistema de ventilación de las instalaciones que manipulan materiales radiactivos, por ejemplo los centros hospitalarios. Finalmente, en forma sólida se pueden mencionar los desperdicios generados por la manipulación del material radiactivo y embalaje del mismo. Estos desechos provienen principalmente de hospitales (algodón, jeringas, agujas, buretas, tips, pipetas, y papel absorbente), centros de investigación (algodón, tips, pipetas, buretas, entre otros) y laboratorios

(tubos de ensayo plásticos y de vidrio, recipientes de vidrio, generadores, bolsas plásticas, entre otros) (OIEA, 1958).

En Guatemala, se utiliza material radiactivo en forma de fuentes no selladas y selladas. Las fuentes selladas utilizadas son: Americio 241 ( $^{241}\text{Am}$ ), Cesio 137 ( $^{137}\text{Cs}$ ), Estroncio 90 ( $^{90}\text{Sr}$ ), Cobalto 60 ( $^{60}\text{Co}$ ), e Iridio 192 ( $^{192}\text{Ir}$ ); dichas fuentes son empleadas principalmente en el área de industria por ejemplo, *Cervecería Centroamericana*, *Siderúrgica de Guatemala*, *Embotelladora La Mariposa*, *Cementos Progreso*, entre otros (MEM-DGE, 2002a).

En el área de medicina (radioterapia), las fuentes selladas utilizadas son Cobalto 60, Cesio 137 y antiguamente Radio 226. Este último ya no es utilizado debido a que es altamente tóxico, su período de semidesintegración es muy largo ( $1.6 \times 10^3$  años) y con el tiempo las fuentes tienden a fisurarse y a liberar el material radiactivo (MEM-DGE, 2002a).

Para restringir el uso de Radio 226, en Guatemala, la ARN inició en el año de 1995 la recolección de dichas fuentes, llegando a recolectar 15 agujas las cuales fueron dispuestas de acuerdo a la legislación en el país, con apoyo del OIEA, por medio de una misión brasileña realizada en el año de 1997 (MEM-DGE, 2002a).

Entre las fuentes no selladas, que son utilizadas básicamente en medicina nuclear, se emplea el Tecnecio 99metastable, el Yodo 125, el Yodo 131, el Samario 153 y el Fósforo 32. Entre las instituciones que hacen uso de dicho material se pueden mencionar el *Hospital General San Juan de Dios*, *Laboratorio Rianálisis*, *Laboratorio Biolab*, *Hospital Roosevelt*, entre otros (MEM-DGE, 2002c).

En tal sentido, los desechos radiactivos son provenientes de las áreas de industria, radioterapia y medicina nuclear. Los desechos generados en la Industria y radioterapia son fuentes selladas que reciben el nombre de fuentes gastadas o en desuso y los desechos provenientes del área de medicina nuclear

son básicamente tubos de ensayo plásticos y de vidrio, viales, generadores, bolsas plásticas, entre otras (MEM-DGE, 2002c).

En el Cuadro No. 1, se pueden observar el material radiactivo utilizado en Guatemala, con algunas de sus características radiactivas.

**Cuadro 1. Características físico-radiactivas de radionucleidos utilizados frecuentemente en Guatemala. 2002\*\***

RADIONUCLEIDOS				
NOMBRE	NOMENCLATURA	FORMA	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	APLICACIÓN
Tecnecio-99	<sup>99</sup> mTc	Líquida	6.04 horas	Medicina
Yodo-125	<sup>125</sup> I	Líquida	59.6 días	Medicina
Yodo-131	<sup>131</sup> I	Líquida	8.02 días	Medicina
Carbono-14	<sup>14</sup> C	Líquida	5,730 años	Medicina
Samario-153	<sup>153</sup> Sm	Líquida	1.95 días	Medicina
Fósforo-32	<sup>32</sup> P	Líquida	14.3 días	Medicina
Iridio-192	<sup>192</sup> Ir	Sólida	74.0 días	Industria
Cesio-137	<sup>137</sup> Cs	Sólida	30 años	Medicina
Americio-241	<sup>241</sup> Am	Sólida	4.32x10 <sup>2</sup> años	Medicina
Estroncio-90	<sup>90</sup> Sr	Sólida	29.1 años	Medicina e industria
Cobalto-60	<sup>60</sup> Co	Sólida	5.2 años	Medicina de industria

\*\* Fuente: OIEA, 1997.

## B. CLASIFICACIÓN DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS

Una etapa fundamental de la gestión de desechos radiactivos es la clasificación de los mismos. Esta clasificación permite seleccionarlos y aplicarles la opción de gestión más apropiada. Los desechos radiactivos se pueden clasificar en función de sus características, como por ejemplo, estado fisicoquímico (sólidos, líquidos, gases), tipo de radiación emitida (alfa, beta o gamma), período de semidesintegración o vida media, actividad específica (baja, media, alta), etc., (Ministerio de Industria y Energía, 1994).

No existe una clasificación única que sea válida a todos los efectos, ni unos límites cuantitativos aceptados internacionalmente para todos los desechos. No obstante, con vistas a su almacenamiento y etapa principal de la gestión; el OIEA, estableció cinco clases distintas de residuos en función de su actividad y de su vida, identificando su procedencia y características, así como el sistema de evacuación más adecuado, esta clasificación se observa en el Cuadro 2.

**Cuadro 2. Clasificación OIEA de los Residuos con vistas a su almacenamiento.\*\***

CLASE DE RESIDUO	CARACTERÍSTICAS	TIPO Y PROCEDENCIA	SISTEMA DE EVACUACIÓN
I. ACTIVIDAD ALTA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad beta/gamma alta</li> <li>- Actividad alfa significativa</li> <li>- Radiotoxicidad elevada</li> <li>- Gran producción de calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos líquidos de alta actividad.</li> <li>- Solidificados procedentes de la reelaboración del combustible irradiado. (1)</li> <li>- Combustible irradiado (2)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formaciones geológicas profundas.</li> </ul>
II. ACTIVIDAD INTERMEDIA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad beta/gamma intermedia</li> <li>- Actividad alfa significativa</li> <li>- Radiotoxicidad intermedia</li> <li>- Pequeña producción de calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vainas del elemento combustible.</li> <li>- Piezas metálicas.</li> <li>- Residuos líquidos de actividad intermedia (1)</li> <li>- Residuos gaseosos (1)</li> <li>- Residuos de clausura</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Formaciones geológicas profundas.</li> </ul>
III. ACTIVIDAD BAJA, PERIODO LARGO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad beta/gamma baja</li> <li>- Actividad alfa significativa</li> <li>- Radiotoxicidad baja/intermedia</li> <li>- Producción de calor insignificante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos líquidos de baja actividad y sus productos de solidificación (1)</li> <li>- Residuos alfa emisores. (1)</li> <li>- Residuos gaseosos (tratam.) (1)</li> <li>- Residuos sólidos baja actividad (1).</li> <li>- Residuos de clausura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Posible colocación en mina o cavidades.</li> <li>- Semejantes a la Clase II. (Inyección en fracturas o en formaciones profundas).</li> </ul>
IV. ACTIVIDAD INTERMEDIA, PERIODO CORTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad beta/gamma intermedia</li> <li>- Actividad alfa insignificante</li> <li>- Radiotoxicidad intermedia</li> <li>- Pequeña producción de calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos líquidos de actividad intermedia y sus productos de solidificación. (1)</li> <li>- Residuos gaseosos de su tratam. (3)</li> <li>- Residuos contaminados con tritio.</li> <li>- Residuos de clausura (3)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Colocación en minas o cavidades.</li> <li>- Trincheras superficiales (inyección)</li> </ul>
V. ACTIVIDAD BAJA, PERIODO CORTO	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Actividad beta/gamma baja</li> <li>- Actividad alfa insignificante</li> <li>- Gran producción de calor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Residuos líquidos de baja actividad y sus productos de solidificación.</li> <li>- Residuos sólidos de baja actividad. (3).</li> <li>- Residuos alfa emisores. (4)</li> <li>- Residuos de clausura.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Semejante Clase IV</li> </ul>

(1) Ciclo cerrado. (2) Ciclo abierto. (3) Centrales nucleares. (4) Fabricación de combustible

\*\* Fuente: OIEA, 1970.

Los desechos radiactivos internacionalmente, también pueden clasificarse según su origen en: desechos institucionales, desechos de plantas nucleoelectricas o generadoras de energía eléctrica y desechos del ciclo del combustible nuclear (OIEA, 1996c).

Los desechos institucionales son los procedentes de hospitales y clínicas que aplican la medicina nuclear para diagnóstico y tratamiento; de centros de investigación; y de diversas aplicaciones industriales como gammagrafía, medición de espesores y niveles y registro de pozos petroleros y de barrenos de exploración de recursos minerales o de geofísica. Los volúmenes de desechos institucionales son generalmente bajos pero es muy común que no estén bien identificados y clasificados por lo que se dificulta el manejo ulterior (OIEA, 1996c).

Los desechos generados de plantas nucleoelectricas, por ejemplo, (un reactor de 1000 Mwe) generan durante su operación normal de 200 a 500 metros cúbicos anuales de desechos radiactivos de niveles bajo y medio. Sin embargo, en condiciones de accidente o incidente se generarían cantidades adicionales de desechos, a los cuales se les deberá dar la gestión adecuada. Los desechos radiactivos generados por dichas plantas, durante su operación normal, son de naturaleza bastante uniforme y bien conocida y necesariamente deben estar bien clasificados, tratados y acondicionados. Desde este punto de vista su gestión adecuada presenta menos problemas que la de los desechos institucionales (OIEA, 1996c).

Finalmente, los desechos del ciclo del combustible nuclear incluyen la producción de concentrados de Uranio, su refinación, conversión y enriquecimiento; la fabricación de combustible nuclear, su almacenamiento temporal, reprocesamiento y disposición final. Desde el punto de vista de los desechos, las operaciones más importantes son la minería de uranio, la producción de concentrados de uranio, y el reprocesamiento de combustible gastado. Cada tipo de desechos requiere un manejo especial (OIEA, 1996c).

La mejor opción para el manejo de estos desechos es la vitrificación, seguida por un período de enfriamiento (de unos 30 años) en almacenes temporales y almacenamiento definitivo en repositorios geológicos profundos (OIEA, 1996c).

En Guatemala, debido al uso del material radiactivo y para los efectos de la aplicación de la reglamentación existente, éstos se clasifican en dos categorías, siendo estas (Guatemala, 1998):

- 1) "Desechos de corto período de semidesintegración: aquellos cuyo período de semidesintegración sea hasta 60 días.
- 2) Desechos de largo período de semidesintegración: aquellos cuyo período de semidesintegración es mayor de 60 días".

Los desechos generados por la utilización de material radiactivo de corto período de semidesintegración, se mencionan en el Cuadro 3.

**Cuadro 3. Desechos de corto periodo de semidesintegración\*\***

RADIONUCLIDO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	DESECHO
Tecnecio 99m	6.04 horas	Algodón, jeringas, tubos plásticos, viales, generadores, puntas plásticas desechables, papel absorbente, guates desechables, líquido con Tecnecio 99m.
Yodo-125	59.6 días	Algodón, tubos plásticos, viales, puntas plásticas desechables, papel absorbente, guantes desechables, soluciones con Yodo 125.
Yodo-131	8.02 días	Algodón, jeringas, guantes desechables, papel absorbente, viales, soluciones con Yodo 131.
Samario-153	1.95 días	Algodón, tubos plásticos, viales, tips, papel absorbente, guantes, soluciones con Samario 153

\*\* Fuente: OIEA, 1997.

Entre los desechos generados en el uso de material radiactivo de largo período de semidesintegración se pueden mencionar en el Cuadro 4.

**Cuadro 4. Desechos de largo período de semidesintegración\*\***

RADIONUCLIDO	PERIODO DE SEMIDESINTEGRACIÓN	DESECHO
Carbono 14	5,730 años	Algodón, tubos plásticos, viales, puntas plásticas desechables, papel absorbente, guantes desechables, bidones
Cesio 137	30 años	Fuente sellada en desuso
Cobalto 60	5.2 años	Fuente sellada en desuso
Iridio 192	74.0 días	Fuente sellada en desuso
Estroncio 90	29.1 años	Fuente sellada en desuso
Americio 241	$4.32 \times 10^2$ años	Fuente sellada en desuso

\*\* Fuente: OIEA, 1997.

## C. GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

En la gestión de desechos radiactivos es esencial velar por que se reduzca al nivel mínimo posible la actividad y la cantidad de tales desechos, así como el riesgo no radiológico inherente a los mismos. (OIEA, 1996c)

La prevención total de la generación de desechos es preferible, pero en la mayoría de los casos es imposible. No obstante, para reducir las consecuencias ambientales y los costos globales se pueden adoptar medidas como las siguientes (OIEA, 1998):

- a. Evitar el uso de materiales innecesariamente peligrosos o tóxicos.
- b. Reducir al mínimo la actividad de los desechos, utilizando la cantidad mínima de materiales radiactivos necesarios.
- c. Emplear radionucleidos de período corto siempre que sea posible.
- d. Reducir al mínimo la cantidad de desechos impidiendo la contaminación innecesaria de materiales.
- e. Mantener la coherencia con la estrategia y los sistemas de la gestión.

Manejar adecuadamente los desechos radiactivos significa realizar una serie de acciones que van desde la recolección de desechos (desde el lugar donde son generados) hasta su disposición final. “Esta serie de acciones es lo que se conoce como *Gestión de Desechos Radiactivos*, y encierra la recolección, la segregación de los diferentes tipos de desechos y el transporte para el área de tratamiento/almacenamiento hasta su disposición final” (Sociedad Nuclear Española, 1994).

Los requisitos básicos de un sistema de gestión de desechos radiactivos son (OIEA, 1958):

- a. “La identificación de las partes que intervienen en las distintas etapas de la gestión de desechos radiactivos, en particular de las entidades generadoras de desechos y determinación de sus responsabilidades.
- b. Un conjunto racional de objetivos de seguridad y de protección radiológica y ambiental del que puedan deducirse normas y criterios en el marco del sistema regulador.
- c. La determinación de los desechos radiactivos actuales y previstos, incluso su ubicación, contenido de radionucleidos y otras características físicas y químicas.
- d. El control de la generación de los desechos radiactivos.
- e. La determinación de los métodos e instalaciones disponibles para procesar y almacenar los desechos radiactivos, así como proceder a su disposición final según un plan cronológico apropiado.
- f. La consideración apropiada de las interdependencias entre todas las fases de la gestión de desechos radiactivos, según un plan cronológico adecuado”.

Por lo anteriormente expuesto, el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) ha elaborado “*Nueve Principios Básicos de la Gestión de Desechos Radiactivos*”, los cuales se describen brevemente en el Cuadro No. 5 (OIEA, 1996a).

**Cuadro 5. Principios básicos para la gestión de desechos radiactivos.\*\***

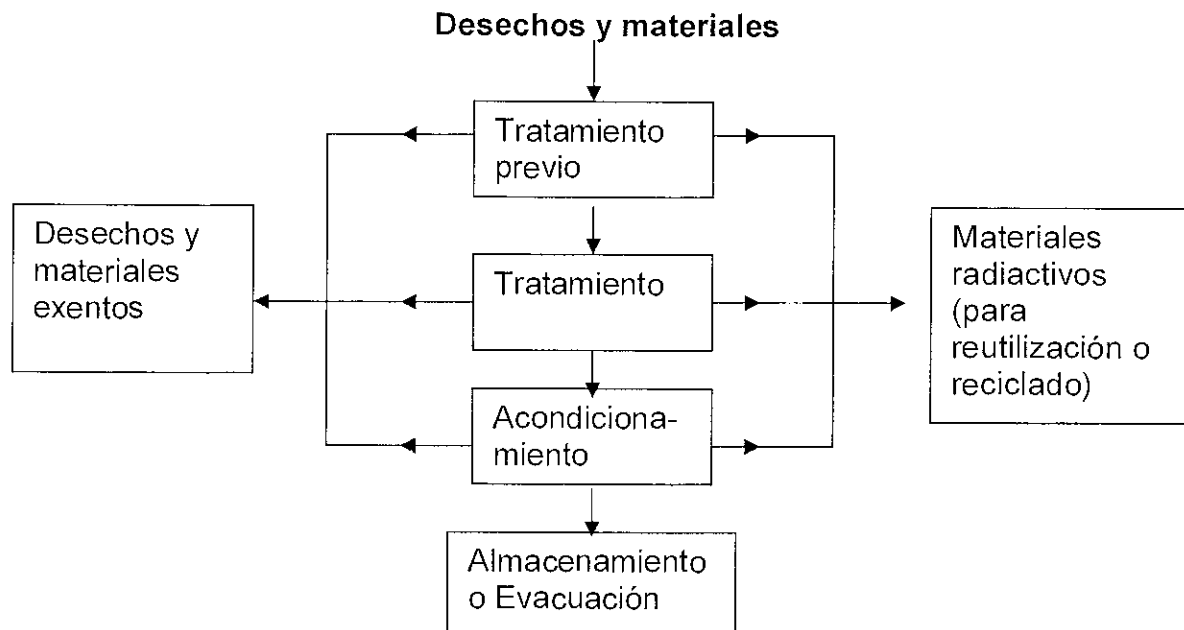
PRINCIPIO	PRECEPTO	DESCRIPCIÓN
1	Protección a la salud humana	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de tal forma que se garantice un nivel aceptable de protección a la salud humana.
2	Protección del medio ambiente	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de tal manera que ofrezca un nivel aceptable de protección del medio ambiente.
3	Protección fuera de las fronteras nacionales	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de forma que dé la seguridad de que se tengan en cuenta los posibles efectos sobre la salud humana y el medio ambiente fuera de las fronteras nacionales.
4	Protección de las generaciones futuras	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de tal forma que las repercusiones previstas para la salud de las generaciones futuras no sean mayores que las que sean aceptables actualmente.
5	Cargas impuestas a las generaciones futuras	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse de tal forma que no imponga cargas indebidas a las generaciones futuras.
6	Marco jurídico nacional	La gestión de desechos radiactivos deberá efectuarse dentro de un marco jurídico nacional apropiado que defina claramente las responsabilidades y establezca funciones reglamentadoras independientes.
7	Control de la producción de desechos radiactivos	La producción de desechos radiactivos deberá mantenerse al nivel más bajo posible.
8	Dependencia recíproca entre la producción y la gestión de desechos radiactivos	Se deberá tener debidamente en cuenta la dependencia recíproca entre todas las etapas de la producción y la gestión de desechos radiactivos.
9	Seguridad de las instalaciones	Durante la vida de las instalaciones de gestión de desechos radiactivos deberá velarse adecuadamente por su seguridad.

\*\*Fuente: OIEA, 1996c.

#### **D. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS**

Las etapas básicas para la gestión eficaz de los desechos radiactivos forman parte de un sistema global, que abarca desde la producción hasta la evacuación, tal y como se presenta la siguiente figura:

**Figura 1. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS\*\***



\*\* Fuente: OIEA, 1996c.

### D.1 Tratamiento previo

El tratamiento previo de los desechos o la caracterización es la primera etapa de la gestión, una vez que éstos se han generado. En esta etapa es necesario saber qué radionucleido contienen los desechos y en qué cantidades, ya que de esto depende el tipo de manejo que se le dará (Balek, 1994)

Los desechos deben caracterizarse a fin de determinar sus propiedades físicas, químicas y radiológicas, y de facilitar la conservación de registros así como la aceptación de los desechos radiactivos de una etapa a otra. Por ejemplo, la caracterización puede aplicarse con el objeto de segregar materiales radiactivos para su exención, para su reutilización o según los métodos de evacuación o para el cumplimiento de los requisitos establecidos en cuanto al almacenamiento y evacuación de bultos de desechos (Balek, 1994)

Básicamente el tratamiento previo incluye: recolección, segregación, ajuste químico y descontaminación, y puede incluir un período de almacenamiento

operacional. Esta etapa inicial ofrece la mejor oportunidad de segregar las corrientes de desechos en el origen. Ello puede facilitar el reciclado dentro del proceso o la disposición final como desechos no radiactivos cuando las cantidades de radionucleidos que contengan sean inferiores a los niveles de exención o dispensa. También brinda la oportunidad de segregar los desechos radiactivos para diferentes rutas de disposición final. Los desechos deben acopiarse en contenedores adecuados y debidamente rotulados. De ser necesario, se pueden ajustar químicamente para facilitar su almacenamiento y transporte. El ajuste químico debe ser compatible con el procesamiento ulterior de los desechos y no debe aumentar innecesariamente la complejidad de su tratamiento (OIEA, 1996b).

En Guatemala, para los desechos radiactivos de corto período de semidesintegración, el tratamiento previo lo realiza la institución que los genera y consiste en la identificación por medio de etiquetas autoadhesibles que contienen la siguiente información: radionucleido, procedencia, fecha, cantidad, y observaciones. Dichas etiquetas son proporcionadas inicialmente por la ARN, pero cada institución debe tener sus propias etiquetas. Esto es evaluado periódicamente por medio de inspecciones a dichas instalaciones de acuerdo a la programación anual. (Véase APÉNDICE No. 1) (MEM-DGE, 2002b).

En relación a los desechos de largo período de semidesintegración, el tratamiento previo consiste en la identificación de los desechos y la posterior solicitud a la ARN, para que sean trasladados a la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas, y se concluyan las fases de la gestión (MEM-DGE, 2002a).

A las fuentes selladas, que son utilizadas en nuestro país, no se les practican las etapas de la gestión de desechos, ya que, de acuerdo a la reglamentación existente en nuestro país, éstas tienen que ser devueltas al país de origen cuando termine su vida útil. La ARN verifica esto al momento de otorgar la respectiva licencia de operación a cada instalación (MEM-DGE, 2002b).

## D.2 Tratamiento

El tratamiento de los desechos radiactivos tiene como objetivo promover una serie de transformaciones en las propiedades físicas y químicas de los desechos, que da como resultado la seguridad de los mismos y la reducción de los costos de transporte y la disposición final. El tratamiento de los desechos radiactivos comprende las operaciones destinadas a aumentar la seguridad o la economía, modificando las características de esos desechos. Los principios básicos del tratamiento aplicable a pequeños volúmenes de desechos son (OIEA, 1996b):

### 1. Reducción del volumen

- Desechos sólidos: desmenuzamiento y compactación.
- Desechos líquidos: evaporación en condiciones controladas.

### 2. Eliminación de radionucleidos

- Desechos sólidos: descontaminación
- Desechos líquidos: intercambio iónico.

### 3. Modificación de la composición

- Desechos líquidos: precipitación/filtración

Es importante tener presente que los procesos de tratamiento pueden originar corrientes secundarias de desechos radiactivos (filtros contaminados, resinas gastadas, lodos), que también requerirán una gestión adecuada (OIEA, 1996b).

Los desechos se someten al tratamiento que más convenga según sus características físicas, químicas y radioquímicas. Los desechos que contienen radioisótopos de periodo de semidesintegración corto, del orden de días, simplemente se dejan decaer durante 10 vidas medias o períodos de semidesintegración, este es el caso del Yodo 131 y el Tecnecio 99. Muchos desechos sólidos se pueden compactar o incinerar, otros se pueden descontaminar o si esto no es posible, se cortan en pedazos pequeños que se

pueden inmovilizar. Los desechos líquidos se pueden tratar por evaporación, precipitación química, filtración o por intercambio iónico. Algunos líquidos orgánicos se pueden incinerar (Sociedad Nuclear Española, 1994).

Algunos procesos de tratamiento son específicos para ciertas clases de desechos, sin embargo, otros pueden ser utilizados para varios tipos de desechos. A continuación se presentan los principales procesos de tratamiento para los desechos radiactivos más comunes (Sociedad Nuclear Española, 1994).

### **D.2.a Tratamiento de Desechos Sólidos**

Los desechos sólidos son generados en grandes cantidades, tanto en instalaciones del ciclo del combustible como en instalaciones radiactivas. Por lo general, son materiales descartados en los laboratorios, tales como: guantes, papel, algodón, vidrios, piezas de ropa, máscaras, filtros, etc. Éstos requieren de suficiente espacio para ser almacenados, lo que representa un costo muy alto de operación para las instalaciones. Sin embargo, estos desechos contienen grandes cantidades de materiales inertes que justifican el uso de equipamientos para reducir el volumen (OIEA, 1970).

Los métodos de reducción de volumen más importantes son:

1. La incineración, que remueve los materiales combustibles (no radiactivos) presentes en el desecho.
2. La compactación, que remueve los espacios vacíos (ocupados por aire) dentro de los desechos radiactivos.

En el proceso de compactación, los desechos que generalmente son recogidos en bolsas de plástico, son colocados dentro de un tambor y prensados. En la incineración, los desechos son quemados en hornos especiales hasta que se convierten en cenizas. Sin embargo, en ninguno de los dos casos son removidos los radionucleídos presentes (Dellamano, 1993).

Durante la incineración, la mayor parte de los desechos se convierten en cenizas y una pequeña parte sale en forma de humos que quedan retenidos en filtros que impiden la contaminación del aire. El desecho compactado, así como las cenizas, son almacenados en tambores hasta que el tiempo de confinamiento se ha cumplido (Dellamano, 1993)

Para los desechos sólidos no compactables y no incinerables, el tratamiento usualmente empleado es el acondicionamiento en embalajes (bultos) tales como tambores o cajas metálicas. Cuando el desecho presenta una alta actividad, se realiza el encapsulamiento del desecho, el cual consiste en verter sobre él una pasta de cemento, betumen o plástico u otro agente solidificante a fin de obtener un bloque monolítico (Dellamano, 1993)

Las fuentes radiactivas selladas, que se usan ampliamente en la industria y en medicina, son un caso particular de desechos radiactivos. En la industria se usan, entre otras, fuentes de Iridio-192; para radiografía industrial, de Kr-85 para medición de espesores; y de Cesio-137, Estroncio-90, Cobalto-57 y Cobalto 60, para medición de niveles y densidades. En geofísica, se usan fuentes de Americio-241, y de Americio-241/Berilio, para perfilaje de pozos. En medicina nuclear se usan fuentes de Estroncio-90, en aplicadores oftálmicos y de Cobalto 60 en teleterapia. Se usaron por muchos años fuentes de Radio 226 en oncología, aunque este procedimiento ya no es utilizado.

Las fuentes de período de semidesintegración corto, como las de Iridio-192, simplemente se dejan decaer. Las de período de semidesintegración largo se inmovilizan en concreto con todo y sus blindajes o cabezales (MEM-DGE, 2002a).

El tratamiento a los desechos sólidos que se realiza en Guatemala, para los de corto período de semidesintegración consiste en dejar decaer 10 vidas medias. Posteriormente cada institución solicita a la ARN, una inspección de verificación en la cual se evalúa si efectivamente ya no contienen material radiactivo, si es así

se autoriza para que el desecho sea descargado al ambiente, siempre y cuando se destruya la identificación de material radiactivo (MEM-DGE, 2002c).

### **D.2.b Tratamiento de los Desechos Líquidos**

El tratamiento de los desechos líquidos consiste en una o más etapas de acondicionamiento físico-químico que tienen en común el objetivo de reducir el volumen de los desechos, removiendo de éstos (lo más posible) los materiales inertes presentes. Los desechos líquidos producidos tanto en instalaciones del ciclo del combustible como en otras instalaciones radiactivas, varían mucho en volumen, actividad y características químicas haciendo que los procesos y métodos de tratamiento sean igualmente variados (OIEA, 1996b).

Los procesos más comunes son:

- Neutralización, para acondicionar químicamente un desecho.
- Precipitación, evaporación e intercambio iónico, para reducir el volumen.
- Inmovilización, para adecuar el desecho a los requisitos de seguridad durante el transporte, el almacenamiento y la disposición final.

Los desechos que requieren un tiempo de confinamiento largo debido a la presencia de radionucleidos de vida media larga, necesitan ser inmovilizados antes de su disposición final para minimizar los riesgos de dispersión. Esto se consigue transformando estos desechos en materiales sólidos por procesos de inmovilización. Estos procesos consisten en adherir los desechos radiactivos en sustancias que tienen propiedades de formar bloques sólidos y mantener su estructura estable por mucho tiempo. Un ejemplo típico es el cemento, que es el material más utilizado para la inmovilización. Otros materiales son el betumen (asfalto), vidrio, cerámica, plásticos, etc. todos ellos llamados matrices de inmovilización (OIEA, 1996b).

El cemento es adecuado para inmovilizar los desechos acuosos (inorgánicos) porque se aprovecha la propia agua del desecho para hidratar el cemento y

hacerlo endurecer. Los radionucleidos contenidos en el desecho pasan a formar parte del bloque de cemento, quedando distribuidos y adheridos dentro de su estructura. El cemento, el betumen y los polímeros son usados en la inmovilización de desechos de baja y media actividad. El vidrio y la cerámica, son especialmente utilizados para desechos de alta actividad. La inmovilización puede ser hecha directamente en tambores de 200 litros, mientras que para desechos de alta actividad, en lugar de tambores, se utilizan cápsulas de acero inoxidable (OIEA, 1996b).

En nuestro país los desechos líquidos de corto período de semidesintegración son descargados al ambiente, con la recomendación de que se deje correr agua de 5 a 10 minutos, con el objetivo de diluir dicho material, esto se verifica por medio de las inspecciones periódicas que realiza la ARN (MEM-DGE, 2002c).

Los desechos de largo período de semidesintegración, son tratados por la institución generadora, solicitando a la ARN, el traslado al MEM-DGE, quien es la responsable de darles el tratamiento adecuado. Este tratamiento tiene un costo que es pagado por la institución que genera el desecho dependiendo del radionucleido utilizado (MEM-DGE, 2002a).

### **D.3 Acondicionamiento**

El acondicionamiento de los desechos radiactivos comprende las operaciones destinadas a darles una forma más adecuada para su manipulación, transporte, almacenamiento y disposición final. Dichas operaciones pueden incluir la inmovilización de los desechos con cemento, su introducción en contenedores y la utilización de embalajes suplementarios. En muchos casos, el tratamiento previo, el tratamiento y el acondicionamiento se llevan a cabo en forma estrechamente relacionada (OIEA, 1996b).

Estas actividades pueden comprender la inmovilización de los desechos radiactivos, su introducción en contenedores y el dotarlos de un embalaje complementario. Entre los métodos corrientes de inmovilización figura la

solidificación de desechos radiactivos líquidos de actividad baja e intermedia en cemento o alquitrán, entre otros, y la vitrificación de desechos radiactivos líquidos de actividad alta en una matriz de vidrio. Los desechos inmovilizados, a su vez, se envasan en contenedores que pueden ser desde bidones de acero corriente con una capacidad de 200 litros hasta contenedores de gruesas paredes y compleja tecnología, según la índole de los radionucleidos y sus concentraciones (Balek, 1998).

De acuerdo a la clasificación de desechos que existe en Guatemala, esta fase de la gestión no se aplica a los desechos de corto período de semidesintegración, únicamente a los de largo período de semidesintegración y la realiza el MEM-DGE, a solicitud de los usuarios, quienes tienen que pagar el acondicionamiento que se le da a los desechos, teniendo este servicio un costo. Según las tarifas publicadas en el Diario de Centroamérica, Órgano Oficial de la República de Guatemala, el 3 de enero del año 2002, en el Acuerdo Gubernativo No. 476-2001, titulado: Tarifas que se indican para el cobro de los análisis que practiquen los Laboratorios de la Dirección Administrativa y de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas. Anteriormente, el MEM-DGE costeaba el tratamiento que se le daba a cada desecho generado (Guatemala, 2001a).

#### **D.4 Almacenamiento o evacuación**

Para realizar el almacenamiento se deben clasificar los bultos obtenidos en el proceso. Esta clasificación tiene el objetivo de asegurar el comportamiento adecuado a largo plazo en el almacén definitivo. Las pruebas de clasificación incluyen entre otras: las de resistencia a la compresión axial, resistencia a la corrosión, resistencia a la radiación, resistencia a la temperatura, resistencia a la lixiviación por inmersión en agua, ausencia de líquidos libres y prueba de frotis (OIEA, 1996b).

Pueden ser necesarias instalaciones de almacenamiento para los desechos radiactivos no tratados, tratados o acondicionados. Debe prestarse especial atención al almacenamiento de los desechos no acondicionados para limitar el

riesgo de dispersión. Las instalaciones de almacenamiento deben diseñarse de modo que garanticen la seguridad física, la posibilidad de recuperación y la protección radiológica (OIEA, 1996b).

El almacenamiento de los desechos radiactivos exige velar por que esos desechos se mantengan de modo tal que:

1. Se garanticen el aislamiento, la protección del ambiente y la vigilancia.
2. Se faciliten los trabajos de tratamiento, de acondicionamiento y de evacuación. Por ejemplo, a veces, se opte por el almacenamiento atendiendo sobre todo a razones de índole técnica, como en el caso de los desechos radiactivos de período de semidesintegración corto, para su desintegración y posterior vertido dentro de los límites autorizados, o de los desechos radiactivos de actividad alta, por razones de temperatura sean almacenados, antes de evacuación geológica. En otros casos puede recurrirse al almacenamiento por razones económicas o políticas.

Los desechos radiactivos de niveles bajo y medio, deben almacenarse de manera que se garantice su contención efectiva durante 300 años. Al cabo de este tiempo ya habrán decaído los radionucleidos contenidos en los desechos a niveles inocuos. Para mantener a los desechos aislados de la biosfera se utiliza un sistema de barreras múltiples (OIEA, 1996b):

1. La primera barrera la constituye el mismo desecho acondicionado, es decir, inmovilizado en concreto, betumen u otro material.
2. La segunda barrera es el contenedor que aloja los desechos. Se usan comúnmente tambores de acero, pero se pueden usar otro tipo de contenedores como recipientes de plástico de alta integridad, contenedores de concreto armado, etc.

3. La tercera barrera son las obras de ingeniería del almacén (pisos, paredes, techos, etc.) Se usan varios tipos de obras de ingeniería, como trincheras o túneles, galerías y bóvedas subterráneas. Un tipo de obra que ha resultado muy práctica y se usa en varios países es el de túmulos en la superficie del terreno.
4. La cuarta barrera es el medio geológico en el que se aloja el almacén.

Las cuatro barreras deben ser compatibles entre sí, de manera que, en conjunto garanticen la contención. El ingeniero de diseño puede manejar cada una de las barreras de la manera que más convenga desde el punto de vista técnico y económico. Por ejemplo, si la geología del emplazamiento es especialmente favorable, no es necesario hacer obras de ingeniería muy costosas. Por el contrario, si el sitio no es idóneo, se pueden subsanar algunas deficiencias, dentro de ciertos límites, mediante obras de ingeniería más elaboradas (OIEA, 1996b).

Sin embargo, hay unas especificaciones mínimas que el sitio debe reunir y, si éstas no se cumplen, no es permisible tratar de lograr la contención requerida con obras de ingeniería. La selección y calificación de un sitio para un almacén definitivo de desechos radiactivos requiere de estudios detallados de geografía, topografía, demografía, meteorología, climatología, geología, sismología, hidrología, hidrogeología, geotecnia y geofísica. Idealmente una instalación para el almacenamiento de desechos radiactivos estaría en un lugar seco, libre de sismos fuertes, alejado de centros de población y con una geología sencilla, que se pueda modelar de manera confiable. No siempre es posible encontrar estas condiciones ideales ni es indispensable que un sitio las reúna. En estos casos, se busca una combinación de factores lo más favorable posible dentro de ciertas especificaciones mínimas que fijan los organismo reguladores (OIEA, 1996b).

Para cumplir con esto, en Guatemala se construyó el Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CENDRA), adscrito al MEM-DGE. Dicho centro cuenta con un área de 100 m<sup>2</sup>, en la cual se encuentran construidos tres depósitos, siendo éstos:

1. Depósito de fuentes de baja actividad (28 m<sup>2</sup>),
2. Depósito de fuentes selladas en desuso (11.2 m<sup>2</sup>) y
3. Área de inmovilización (85 m<sup>2</sup>) (OIEA 1990).

El CENDRA fue construido con apoyo técnico internacional dado por el OIEA. Este apoyo consistió en el envío de una misión de expertos internacionales, llamada *Waste Management Advisory Programme (WAMAP)*, el cual tuvo como objetivo principal, realizar una evaluación de los desechos generados en Guatemala y su respectiva gestión (OIEA, 1990).

Posteriormente se emitieron sus opiniones, conclusiones y recomendaciones, las cuales fueron consideradas para la construcción del CENDRA y se encuentran en detalle en el informe respectivo (Gómez, 1993).

## **E. REGLAMENTACIÓN**

La emisión oportuna del marco jurídico nacional eficaz y la infraestructura institucional conexas, es la base que garantiza la gestión adecuada de los desechos radiactivos. Cada una de las actividades de gestión de desechos radiactivos requiere una coordinación adecuada, y el reconocimiento de esta dependencia contribuirá a garantizar la seguridad durante todas las etapas del proceso. El manejo de los desechos radiactivos, desde su generación por el usuario hasta su disposición final, está sujeto a reglamentos, normas, códigos y guías de prácticas, las cuales son elaboradas por los países que hacen uso de material radiactivo, tomando como base los emitidos por el OIEA (OIEA, 1996c).

Por su parte, los encargados de la gestión de los desechos deben tener el entrenamiento, el equipo y las instalaciones apropiadas y además deben tener la licencia de operación respectiva. El grupo que maneja los desechos debe tener procedimientos específicos para cada una de las operaciones que realiza, tales como:

1. Recolección,
2. Clasificación,

3. Tratamiento de los desechos,
4. Inmovilización de los mismos,
5. Calificación de los bultos y
6. Su disposición final (OIEA, 1997a).

Internacionalmente el OIEA, ha establecido las recomendaciones en lo que se refiere a gestión de desechos radiactivos, elaborando las Normas Básicas de Seguridad Colección 115 OIEA, en las cuales la sección del ciclo del combustible y manejo de desechos radiactivos, indican los procedimientos generales a seguir (OIEA, 1997a).

Como soporte a lo establecido en estas recomendaciones, el OIEA ha realizado investigaciones de acuerdo a la clasificación de los desechos radiactivos y su generación. En tal sentido, ha publicado varias guías técnicas, las cuales describen los procedimientos a seguir dependiendo del tipo de desecho del cual se trate (OIEA, 1997a).

Guatemala se ha preocupado por la investigación y la elaboración de la reglamentación en esta materia, publicando el 28 de noviembre de 1986 el Decreto Legislativo No. 68-86 Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, el cual hace mención así:

**“Artículo No. 6.** (Reformado por el Artículo 1 del Decreto del Congreso Número 75-91), *El suelo, subsuelo y límites de aguas nacionales no podrán servir de reservorio de desperdicios contaminantes del medio ambiente o radioactivos. Aquellos materiales y productos contaminantes que esté prohibida su utilización en su país de origen no podrán ser introducidos en el territorio nacional”.*

**“Artículo No. 7,** *se prohíbe la introducción al país, por cualquier vía, de excrementos humanos o animales, basuras domiciliarias o municipales y sus derivados, cienos o lodos cloacales, tratados o no, así como desechos tóxicos provenientes de procesos industriales que contengan sustancias que puedan infectar, contaminar y/o degradar al medio ambiente y poner en peligro la vida y la salud de los habitantes, incluyendo entre él las mezclas o combinaciones químicas, restos de metales pesados, residuos de materiales radiactivos, ácidos y álcalis no determinados, bacterias, virus, huevos, larvas, esporas y hongos zoo y fitopatógenos.”* (Guatemala, 1986b).

El 10 de enero de 1986, se publicó la Ley Nuclear (Decreto Ley 11-86), en la cual se prohíbe usar el territorio nacional, mar territorial y zona económica, para depositar desechos radiactivos provenientes de otros países, al mismo tiempo, indica que se prohíbe eliminar, confinar o en cualquier forma disponer de equipos desechados que contengan sustancias radiactivas, así como de cualquier desecho radiactivo, sin cumplir con las normas establecidas en dicha ley (Guatemala, 1986a).

Como complemento a la Ley Nuclear se elaboró el Reglamento de Licencias en Materia de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes, Acuerdo Gubernativo 989-92, el cual fue derogado el 14 de febrero del 2001, cuando se publicó el Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes (Acuerdo Gubernativo No. 55-2001). En este Reglamento, se mencionan las responsabilidades de los titulares de licencias de material radiactivo con relación a los desechos generados, así también se mencionan las condiciones para realizar descargas radiactivas al medio ambiente, véase apéndice 6 (Guatemala, 2001b).

Finalmente, en el año de 1998, se publicó el Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivos (Acuerdo Gubernativo No. 559-98), el cual tiene como objetivo establecer los requisitos técnicos, obligaciones y procedimientos administrativos asociados a la gestión de desechos radiactivos, para proteger al hombre y su ambiente de riesgos asociados a las radiaciones ionizantes resultantes de dicha gestión. Este Reglamento se aplica a toda persona natural o jurídica que utilice, dentro del territorio nacional, material radiactivo, y que pueda por la naturaleza de su actividad generar desechos radiactivos. Dicho Reglamento, da a conocer los procedimientos legales que se deben seguir en la República de Guatemala en relación a la gestión de desechos radiactivos; al mismo tiempo menciona las responsabilidades y requisitos que deben cumplir los usuarios de dicho material y las sanciones que serán impuestas a las personas que violen o incumplan la Ley (Guatemala, 1998).

#### **IV. PLANTEAMIENTO DE HIPÓTESIS**

Los desechos radiactivos generados en Guatemala por las diferentes actividades realizadas en la industria, la medicina y la investigación, no son tratados adecuadamente según lo establecido en la reglamentación nacional, ni a los procedimientos técnicos emitidos por la Autoridad Reguladora Nacional.

#### **V. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

##### **5.1 Objetivo General**

Determinar si el tratamiento de los desechos radiactivos generados en Guatemala, cumple con los requisitos necesarios para su gestión, establecidos en la reglamentación nacional e internacional.

##### **5.2 Objetivos Específicos**

Identificar el tratamiento de los desechos radiactivos líquidos y sólidos, generados en las instituciones que hacen uso de material radiactivo.

Verificar si se cumplen las fases de la gestión de los desechos radiactivos, utilizadas por las instituciones que hacen uso de material radiactivo.

Evaluar la aplicabilidad de la legislación existente en el país relacionada con la gestión de los desechos radiactivos.

## VI. METODOLOGÍA

La presente investigación se desarrolló de acuerdo al siguiente diseño:

### 6.1 Tipo de investigación

Se llevó a cabo en forma descriptiva, ya que las variables fueron medidas con base en la teoría nacional e internacional relacionada a los diferentes tipos de tratamiento de los desechos radiactivos.

### 6.2 Unidad de análisis

La unidad de análisis incluyó los desechos líquidos y sólidos radiactivos generados por el uso de fuentes selladas y no selladas en las diferentes prácticas en el territorio nacional.

La población estuvo constituida por las fuentes radiactivas selladas que se localizan en 22 industrias, y en 18 instalaciones médicas que incluyeron 10 centros hospitalarios que emplean material radiactivo en forma de fuentes no selladas.

En el estudio se integraron dos variables:

1. Gestión de los desechos radiactivos y,
2. Regulación sobre los mismos (véase APÉNDICE 2).

Para la primera variable se emplearon cinco indicadores:

1. La identificación de las instalaciones;
2. La gestión de los desechos en la industria;
3. Usos en radioterapia;
4. Usos en medicina nuclear; y
5. Usos en la Dirección General de Energía.

Para la segunda variable se utilizaron dos indicadores:

1. Los requisitos técnicos para la gestión de los desechos radiactivos; y
2. Los procedimientos empleados.

Se usaron cuestionarios como instrumento para evaluarlos (véase APÉNDICE 3).

### **6.3 Instrumento**

De acuerdo al diseño de la investigación, para probar la hipótesis planteada, se empleo para la primera variable, cuatro hojas de cotejo como instrumento. Éstas fueron completadas con información obtenida de los registros del Departamento de Protección Radiológica, del MEM-DGE, así como de inspecciones realizadas a las instalaciones que utilizan material radiactivo.

En las cuatro hojas de cotejo iniciales se incluyó la información relacionada al tratamiento previo, el tratamiento, el acondicionamiento y el almacenamiento o evacuación, de los desechos radiactivos, tanto líquidos como sólidos de las instalaciones que manipulan material radiactivo en Guatemala. En el APÉNDICE 4, se describe cada hoja de cotejo.

La segunda variable estuvo relacionada al conocimiento de los usuarios sobre la regulación nacional del tratamiento de los desechos radiactivos. Esto se analizó a través de cuestionarios, los cuales fueron contestados por los operadores o usuarios del material, en las inspecciones realizadas.

### **6.4 Procedimiento y análisis estadístico**

Para el presente estudio, se realizó una investigación documental, mediante la consulta de registros, libros, y normativa legal existente relacionada a la gestión de desechos radiactivos.

Tomando en cuenta las características de las instalaciones que manipulan material radiactivo, éstas fueron agrupadas y clasificadas por tipo de fuente y desecho generado. Posteriormente fue analizada cada respuesta obtenida verificando si el tratamiento del desecho se realiza adecuadamente. Para este análisis se realizó una ponderación de cada pregunta elaborada.

La ponderación de cada pregunta fue realizada de acuerdo al orden en que estaban escritas en las diferentes fases de la gestión de los desechos. Al mismo tiempo se realizó una investigación de campo, por medio de visitas a las instituciones que utilizan material radiactivo, en las cuales se completaron los cuestionarios relacionados con el conocimiento que se tenía sobre la regulación relacionada con desechos radiactivos. Dichas visitas fueron planificadas con personal y equipo del Departamento de Protección Radiológica de la DGE-MEM, dentro de su trabajo planeado para el año en curso.

Posteriormente se descodificó cada pregunta, ponderando las respuestas obtenidas relacionadas al conocimiento de la reglamentación nacional.

## VII RESULTADOS

De acuerdo al diseño de investigación presentado, los resultados se dan a conocer por medio de las variables:

1. Gestión de los desechos radiactivos; y
2. Regulación sobre la gestión de los desechos radiactivos, utilizando para ello las hojas de cotejo y los cuestionarios.

### 7.1. GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS.

**7.1.1 Identificación de las instalaciones:** este indicador fue evaluado analizando los registros en el MEM-DGE, y en las visitas realizadas, llegando a agrupar las instalaciones que hacen uso de material radiactivo por áreas, siendo éstas:

1. Industria;
2. Radioterapia; y
3. Medicina nuclear, en las cuales se utilizan fuentes selladas y no selladas.

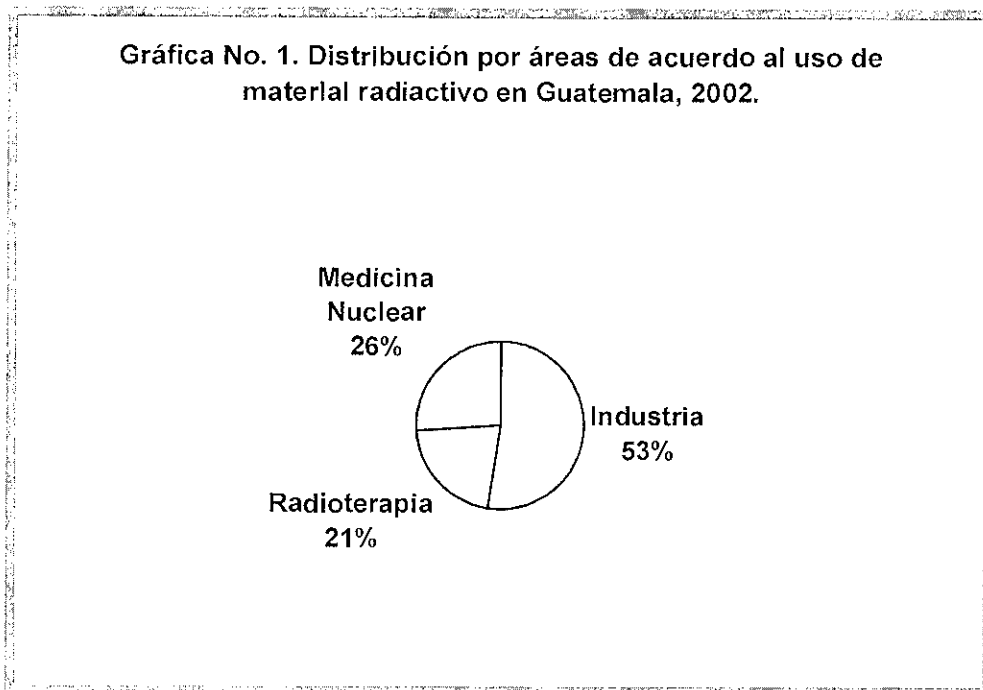
El material radiactivo empleado en Guatemala, de acuerdo a las áreas identificadas, se presenta en el Cuadro 6.

**Cuadro 6. Uso de material radiactivo en industria de Guatemala 2002.\*\***

AREA	FUENTE	USO
INDUSTRIA	<sup>90</sup> Sr	Medidor de espesores
	<sup>241</sup> Am, <sup>137</sup> Cs, <sup>63</sup> Ni, <sup>90</sup> Sr	Medidores de nivel
	<sup>192</sup> Ir	Gammagrafia industrial móvil
	<sup>137</sup> Cs	Medidores de nivel en digestores y tanques
	<sup>241</sup> Am, <sup>137</sup> Cs	Perfilaje de pozos
	<sup>60</sup> Co, <sup>137</sup> Cs	Esterilización de la mosca del mediterráneo
	<sup>60</sup> Co	Medidores de nivel para acero
	<sup>252</sup> Cf	Determinación de Elementos Minerales
RADIOTERAPIA	<sup>60</sup> Co	Cobaltoterapia
	<sup>137</sup> Cs	Braquiterapia e implantes intracavitarios
	<sup>60</sup> Co y <sup>137</sup> Cs	Cobaltoterapia
	Acelerador Lineal	Teleterapia
MEDICINA NUCLEAR	<sup>153</sup> Sm	Tratamiento paliativo en metástasis ósea.
	<sup>125</sup> I	Diagnóstico in vitro de perfil ginecológico, marcadores tumorales, cuantificación de drogas, determinación de vitamina B12 y marcación de linfocitos humanos
	<sup>69</sup> Sr, <sup>201</sup> Tl, <sup>67</sup> Ga,	Diagnóstico y tratamiento de enfermedades
	<sup>131</sup> I	Tratamiento de enfermedades tiroideas
	<sup>99m</sup> Tc	Tratamiento de enfermedades tiroideas

\*\*Fuente: MEM-DGE, 2002c.

De esta información se identificó que en el área de industria existen veintidós instalaciones (53.38%), y en braquiterapia nueve instalaciones médicas (21.43%) que hacen uso de fuentes no selladas y en el área de medicina nuclear once instalaciones (26.19%) emplean fuentes no selladas (Gráfica No. 1).



### 7.1.2 Gestión de los desechos radiactivos en la industria

De acuerdo a la identificación de las áreas, se observó que en el área de industria, se emplean en su totalidad fuentes selladas, dichas fuentes son gestionadas directamente por la institución que las alberga, basándose en la legislación vigente en el país, esto es, que existe una carta de compromiso en la cual se compromete la institución a devolverla al país de origen cuando termina su vida útil, copia de esta carta se encuentra en el archivo de cada empresa.

Esto es comprobado por la ARN, al momento de otorgarles la licencia respectiva antes de ser utilizada la fuente. Las cartas en mención se encuentran ubicadas en el archivo de cada empresa registrada en la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas.

Es importante hacer mención de que el uso de material radiactivo en el área de industria ha aumentado a partir de los años 90, por lo que las industrias en su totalidad poseen la carta de compromiso antes mencionada.

En el área de industria la aplicación de las fuentes selladas, en su mayoría son utilizadas para medir espesores, niveles, determinación de minerales, esterilización de la mosca del mediterráneo, perfilaje de pozos, determinación de minerales, y gammagrafía industrial, existiendo en el país un mayor número en fuentes que contienen Americio 241, Cesio 137 y Estroncio 90, tal y como se observa en el Cuadro 7.

**Cuadro 7. Número de fuentes selladas empleadas en Guatemala por el área de industria. 2002.**

RADIOISÓTOPO	No. DE FUENTES RADIATIVAS
Americio 241	28
Estroncio 90	9
Cesio 137	16
Iridio 192	5
Cobalto 60	7
Californio 252	2

\*\*Fuente: MEM-DGE, 2002<sup>a</sup>.

### 7.1.3 Gestión de desechos radiactivos en Radioterapia

De igual forma que en el área de industria, se observó que en el área de braquiterapia se emplean fuentes selladas en su totalidad, utilizando principalmente fuentes de Cobalto 60 y Cesio 137, con actividades elevadas como por ejemplo hasta 6,460 Ci. Estas fuentes son empleadas para tratamientos de cáncer en su mayoría y son gestionadas directamente por la institución que las posee, aplicando la legislación vigente en el país, sin embargo, se pudo corroborar por medio del análisis realizado que, de las nueve instalaciones una de ellas, el *Instituto Nacional de Cancerología* (INCAN), solicitó a la ARN una licencia de construcción para poder construir un área y darle el tratamiento a varias fuentes de Cobalto 60 que poseían y que ya eran consideradas como fuentes en desuso.

De las nueve instalaciones evaluadas, se comprobó mediante el análisis de los expedientes, que el 44.40% poseen carta de compromiso y el 55.55% restante, están tramitando los convenios correspondientes. El proceso de dichos convenios es un problema para la ARN ya que en él se tiene que indicar claramente las obligaciones de las instalaciones y del MEM-DGE, mismas que se tienen que cumplir para evitar las sanciones.

Es importante mencionar que antes de la emisión de la Ley Nuclear (Decreto Ley No. 11-86), las fuentes selladas eran gestionadas inadecuadamente, ya que en algunos casos no se tenía conocimiento del procedimiento a emplear. Por esta razón, la ARN consciente de este peligro realizó un inventario de las fuentes selladas que existían en el país, para su posterior recolección y gestión. Esto se logró con apoyo del OIEA y de las instituciones que poseían dichas fuentes, lo cual se puede corroborar en los archivos de la DGE.

Actualmente existen instituciones que poseen fuentes selladas que no han dejado de ser útiles, pero cuando fueron adquiridas no existía la Ley Nuclear. En estos casos la ARN se ha acercado a ellas, indicándoles que el procedimiento a seguir se realiza por medio de un convenio en el cual el MEM-DGE realizará la gestión y cada institución se compromete a costear los gastos que se incurran. Dichos gastos dependen de la cantidad y tipo de fuentes que se gestionen, y para esto la ARN aplica los precios que aparecen en la publicación del Precio de Análisis del Departamento de Protección Radiológica, Acuerdo Gubernativo No. 476-2001. Antes de ser publicada la tarifa en mención, la ARN proporcionaba el área física (CENDRA) y la institución únicamente invertía en el material a utilizarse. (Guatemala, 2001a).

#### **7.1.4 Gestión de desechos radiactivos en medicina Nuclear**

La medicina nuclear emplea en su totalidad fuentes no selladas de período de semidesintegración corto (horas o días) y cantidades muy pequeñas, generando tanto desechos líquidos como sólidos.

El material radiactivo utilizado en esta área es en su mayoría Tecnecio 99metastable, Yodo 125 y Yodo 131, Samario 153, Fósforo 32 y Carbono 14, este último, es el único material radiactivo de largo período de semidesintegración (5,730 años), por lo que la gestión del mismo es realizada por el MEM-DGE, a solicitud de la institución que lo utiliza. Entre los desechos sólidos que se generan en esta área, podemos mencionar: algodón, jeringas, tubos plásticos, frascos de vidrio, generadores, puntas plásticas desechables, papel absorbente, guantes desechables, ropa, entre otros (Guatemala, 2001a)

Con relación a las fases para realizar la gestión se puede mencionar que el tratamiento previo se realiza en su totalidad en las instalaciones evaluadas, ya que todas identifican y caracterizan los desechos tal y como lo indican los procedimientos dados por la ARN.

El tratamiento consiste en dejar decaer los desechos sólidos 10 vidas medias, y posteriormente descargarlos al ambiente. No está de más indicar que antes de ser descargados al ambiente, cada institución solicita a la ARN una inspección de verificación con el objetivo de constatar que ya no contienen material radiactivo, esto se realiza de acuerdo a los procedimientos establecidos por la ARN, los cuales fueron revisados al momento de realizar las visitas para el presente estudio.

Con relación al acondicionamiento, las instalaciones evaluadas poseen un área específica para almacenar los desechos sólidos y dejarlos decaer 10 vidas medias. Dicha área ha sido estudiada y aprobada por la ARN, ya que ésta debe estar alejada del personal que labora en las instituciones y debe tener un acceso restringido a personal no autorizado.

La fase de evacuación de desechos sólidos se realiza cuando los desechos han decaído en su totalidad y es autorizada por la ARN, por medio de inspecciones. En la inspección, personal de la ARN procede a revisar e inspeccionar los desechos sólidos y todo el procedimiento está dentro de los

límites aceptables, eliminan la identificación de radiación para su posterior evacuación como basura común, lo cual se pudo comprobar en las visitas realizadas.

Los desechos líquidos generados en medicina nuclear son básicamente provenientes de Yodo 125, empleado en radioinmunoensayos para el diagnóstico de enfermedades tiroideas, utilizando cantidades muy pequeñas (10uCi) y de Yodo 131, que se emplea para tratamiento de enfermedades tiroideas (OIEA, 1998).

Debido a las actividades tan bajas y cantidades pequeñas de los desechos líquidos, la gestión consiste en descargarlos directamente al medio ambiente en los lavaderos de los laboratorios. Este descargue ha sido evaluado y analizado por la ARN previo a otorgarles la licencia correspondiente, ya que en ésta se indica el procedimiento a realizar, que consiste básicamente en dejar correr agua durante 10 a 15 minutos posterior al descargue (Guatemala, 1998).

En las inspecciones que realiza la ARN, se constató que se efectúan evaluaciones de las áreas de descargue las cuales no presentaron contaminación, de no ser así, impone las sanciones correspondientes establecidas en la legislación vigente.

#### **7.1.5 Gestión de las fuentes en desuso de la Dirección General de Energía, del Ministerio de Energía y Minas**

El MEM-DGE, cuenta con un registro de 44 fuentes selladas en desuso, las cuales fueron utilizadas como fuentes de calibración, en la práctica de gammagrafía industrial, fluorescencia de rayos X y medidores de densidad. Dichas fuentes se encuentran almacenadas en el CENDRA con su respectiva identificación para su posterior tratamiento. Este tratamiento será realizado por personal de la ARN, empleando el método indicado en las guías respectivas y dependiendo de la fuente de que se trate, lo cual se comprobó en las visitas realizadas.

Del registro analizado se verificó que el mayor número de fuentes en desuso es de Cesio 137, ya que se cuenta con trece fuentes, seguido de esto se tienen siete fuentes de Cobalto 60 y finalmente cuatro fuentes de Bario 133. Estas fuentes en desuso tienen la característica de tener a la fecha, actividades bajas por lo que la ARN, tendrá que decidir si son tratadas o únicamente serán almacenadas para que decaigan. A continuación se presenta un resumen del registro de las fuentes en desuso.

**Cuadro 8. Fuentes en desuso ubicadas en la DGE.\*\***

NUMERO	RADIOISOTOPO	No. DE FUENTES
1	Cesio 137	13
2	Cobalto 60	7
3	Estroncio 90	3
4	Plutonio/Berilio	1
5	Americio 241	3
6	Iridio 192	2
7	Carbono 14	1
8	Uranio 238	1
9	Niquel 63	1
10	Bario 133	4
11	Estaño 113	2
12	Cobalto 57	1
13	Oro 198	1
14	Talio 204	2
15	Hierro 55	1
16	Cadmio 109	1
	<b>TOTAL</b>	<b>44</b>

\*\* Fuente: MEM-DGE., 2002d

El almacenamiento en el MEM-DGE se realiza en el CENDRA, el cual fue construido bajo análisis y recomendaciones del OIEA, dicho centro consta de tres áreas:

1. Depósito de fuentes de baja actividad;
2. Depósito de fuentes selladas en desuso; y
3. Área de inmovilización.

Cada área tiene características específicas para las fuentes que alberga, por ejemplo el depósito de fuentes selladas en desuso, es un área pequeña (11.2 m<sup>2</sup>) y las fuentes son colocadas en unas bóvedas de concreto ubicadas bajo tierra, mientras que en las instalaciones de fuentes de baja actividad (28 m<sup>2</sup>) es amplia y posee estanterías en las cuales se colocan las fuentes

claramente identificadas, y finalmente el área de inmovilización (85.12 m<sup>2</sup>), está preparada para tener un laboratorio de análisis y almacenamiento de las fuentes.

## **7.2 REGULACIÓN SOBRE LA GESTIÓN DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS**

### **7.2.1 Requisitos técnicos para la gestión de los desechos radiactivos:**

Este indicador fue evaluado por medio de cuestionarios, los cuales fueron completados cuando se realizaron las inspecciones programadas.

El 100% de las instalaciones (industria [22], radioterapia [9] y medicina nuclear [11]), tienen licencia para manipular material radiactivo o se encuentra en proceso de trámite. Esto manifiesta que las instalaciones cuentan con personal que también tiene su licencia respectiva o está en trámite. En tal sentido las personas que hacen uso de dicho material tienen conocimientos de la regulación existente y por consecuencia conocen los requisitos a cumplir con relación a la gestión de los desechos radiactivos. No está de más indicar que, en los cursos de capacitación que imparte el MEM-DGE, se instruye a los usuarios sobre el tema de desechos radiactivos. Esto se pudo comprobar analizando los expedientes de las instalaciones.

En las visitas realizadas se verificó que las instalaciones poseen procedimientos de segregación, cuentan con el depósito temporal para almacenar los desechos radiactivos y solicitan por escrito a la ARN una inspección de verificación para la autorización de descarga de los desechos, esto con relación a las fuentes no selladas.

Con relación a las fuentes selladas el requisito consiste en poseer la carta de devolución de la fuente a su país de origen, o un convenio con la ARN para que gestione la fuente, del área. Este requisito debe cumplir con el pago de gestión de la fuente, el cual se encuentra establecido en la tarifa emitida en el Acuerdo Gubernativo No. 476-2001. Esta carta se comprobó que la poseían las empresas en el archivo correspondiente

**7.2.2 Procedimientos para la gestión de desechos radiactivos:** De igual forma que los requisitos para la gestión de desechos radiactivos, este indicador fue evaluado por medio de cuestionarios, en los cuales se realizaron preguntas enfocadas a la clasificación de los desechos, procedimientos para realizar la clasificación, responsabilidades de los usuarios, y conocimiento de los procedimientos de segregación.

Los cuestionarios fueron evaluados en las veintidós industrias, nueve centros de radioterapia y once centros de medicina nuclear, las preguntas fueron basadas específicamente en el Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivos, Acuerdo Gubernativo No. 559-98 de fecha 04 de septiembre de 1998.

Estos cuestionarios fueron completados por usuarios tanto de fuentes selladas como no selladas, dando como resultado, que el 100% de los usuarios entrevistados tienen conocimiento de los procedimientos para la gestión de desechos, ya que éste es uno de los requisitos para que se les pueda otorgar la licencia respectiva, misma que deben poseer antes de iniciar su trabajo con material radiactivo.

## VIII DISCUSIÓN

### 8.1 Gestión de los desechos radiactivos.

El diseño de la investigación se basó inicialmente en la identificación de las áreas que emplean material radiactivo en Guatemala, siendo éstas industria, radioterapia y medicina nuclear, observándose un mayor porcentaje en las áreas de industria (53.38%) y radioterapia (21.43%).

En las áreas de industria y radioterapia se utilizan, en un 100%, fuentes selladas, las que de acuerdo a la normativa vigente en el país, tienen que ser devueltas a su país de origen (Guatemala, 2001).

Lo anteriormente descrito se cumple por medio de una carta compromiso por parte del usuario ante la ARN, en la cual el usuario indica que cuando la fuente sellada llegue a su vida útil, esta será devuelta a su país de origen, esto se verificó al revisar los expedientes de las instituciones. Sin embargo, la ARN tiene que realizar inspecciones periódicas para observar si se cumplen con los procedimientos de protección y seguridad radiológica.

No obstante, antes de que existiera la reglamentación nacional, ya se hacía uso de material radiactivo (principalmente en el área de radioterapia) en forma de fuentes no selladas y no se necesitaba carta de compromiso. En tal sentido, la instalación solicita a la ARN que le gestionen los desechos radiactivos, mediante la elaboración de un convenio, en el cual se manifiestan las responsabilidades tanto de las instalaciones como de la ARN. Se pudo comprobar que únicamente una instalación posee dicho convenio actualmente, las cuatro restantes están en proceso de elaboración.

La gestión de fuentes selladas, se realiza dependiendo de la fuente utilizada y el arancel publicado Acuerdo Gubernativo No. 476-2001.

Para llegar a realizar esta gestión, la ARN cuenta con los procedimientos técnicos teóricos y el personal capacitado en forma teórica y práctica en el exterior, pero, por la cantidad de desechos radiactivos generados en nuestro país, dicha práctica no se ha realizado ya que no existen suficientes fuentes selladas que ameriten el tratamiento.

En los antecedentes, se mencionaron los diferentes procedimientos que existen mundialmente. Sin embargo, en Guatemala, el procedimiento empleado es la cementación, debido a factores económicos, mano de obra, materia prima y área física con la que se cuenta.

Las etapas básicas de la gestión de desechos radiactivos son aplicadas en su totalidad en el área de medicina nuclear, ya que en el tratamiento previo cada instalación identifica claramente el desecho generado con el nombre y características del radionucleido empleado, realizando una adecuada recolección y segregación del mismo (fecha, procedencia, y cantidad).

Derivado del análisis realizado se observó que, en Guatemala, los desechos radiactivos cumplen con los requisitos básicos de un sistema de gestión, ya que tanto las industrias como las instalaciones hospitalarias, identifican las etapas que se deben seguir, así como las responsabilidades que tienen que cumplir, por lo que la parte de la hipótesis planteada en la presente investigación, relacionada al conocimiento de los procedimientos técnicos emitidos por la ARN por parte de los usuarios, es rechazada.

Cabe hacer mención de que los usuarios de material radiactivo han sido capacitados con relación a seguridad, protección radiológica y ambiental, lo cual facilita a la ARN el control de los desechos que generan.

## **8.2 Regulación sobre la gestión de desechos radiactivos**

Esta variable fue evaluada por medio de dos instrumentos que fueron los cuestionarios, los cuales fueron completados por los usuarios, técnicos y

profesionales, que laboran en las instalaciones. Al momento de ser completados se pudo observar que el profesional, cuya responsabilidad es capacitar a los técnicos en el uso y manipulación de material radiactivo, tenía mayor conocimiento teórico de la legislación, sin embargo, quien tiene mayor contacto con el material radiactivo y genera los desechos es el técnico.

Esto se observó en las visitas realizadas y al momento de realizarlas se aclararon varias dudas de los técnicos, manifestando la importancia de que la ARN, realice cursos de actualización y seguimiento.

De las veintidós industrias analizadas, los técnicos poseen la respectiva licencia de operador y las instalaciones la licencia de operación, lo cual indica que ya han tenido un primer curso básico de protección radiológica en el área específica. El cual es uno de los requisitos establecidos en el Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica. En dicho curso se tiene un tema específico sobre desechos radiactivos, en el cual se indican los procedimientos mínimos que deben conocerse para realizar la gestión de los desechos.

Al igual que en el área de industria, los técnicos de radioterapia y medicina nuclear poseen sus respectivas licencias de operador, cumpliendo con el artículo No. 30 del Reglamento antes mencionado. Al mismo tiempo en los cuestionarios figuraban preguntas del Reglamento de Desechos Radiactivos, el cual ha sido entregado por institución por parte de la ARN en las inspecciones que realizan.

De lo anterior, se observa que la segunda parte de la hipótesis relacionada al tratamiento de los desechos según la reglamentación nacional es rechazada, ya que dicha reglamentación es puesta en práctica por parte de los usuarios de material radiactivo.

Entre los países de Centroamérica, Guatemala es el país que va a la vanguardia en lo referente a la gestión de desechos radiactivos, ya que cuenta con reglamentación e instalaciones apropiadas para el tratamiento de material radiactivo. De acuerdo a los registros que posee la DGE-MEM, se pudo

establecer que en los otros países de Centroamérica, algunos de ellos no cuentan con reglamentación ni con infraestructura, tal es el caso de Nicaragua y Honduras. El Salvador y Costa Rica si poseen reglamentación y se encuentran en proceso de crear las instalaciones.

## IX CONCLUSIONES

1. De acuerdo al análisis realizado se verificó que los desechos radiactivos generados en Guatemala por las diferentes actividades realizadas en la industria y la medicina, son tratados adecuadamente según lo establecido en la reglamentación nacional, aplicando los procedimientos técnicos emitidos por la Autoridad Reguladora Nacional, por lo que la hipótesis planteada se rechaza.
2. El tratamiento de desechos radiactivos líquidos y sólidos generados en Guatemala, por el uso de fuentes no selladas, de corto período de semidesintegración, se lleva a cabo cumpliendo con las fases de tratamiento previo, tratamiento, almacenamiento y evacuación, establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica.
3. Los procedimientos para el manejo de desechos radiactivos son aplicados adecuadamente en los desechos generados en el área de medicina nuclear, tal y como lo estipula el Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivo, Acuerdo Gubernativo no. 559-98.
4. Las instituciones que hacen uso de material radiactivo en Guatemala, antes de poder utilizarlo, deben contar con la respectiva licencia, lo cual permite que tengan que conocer la legislación vigente en el país relacionada al uso de material radiactivo.

## X RECOMENDACIONES

A la Autoridad Regulatoria Nacional:

1. Continuar con las inspecciones periódicas, a las instalaciones que manipulan material radiactivo.
2. Continuar capacitando al personal que hace uso de material radiactivo, con el objetivo de asegurar la protección de las personas como del medio ambiente.
3. Realizar un censo a las instituciones que hacen uso de fuentes no selladas con el objetivo de actualizar el registro que se tiene de fuentes.
4. Realizar un acercamiento con las instancias públicas y privadas, que tienen relación con el ambiente, a fin de dar a conocer las actividades que realizan y se apoyen entre sí.
5. Realizar inspecciones en el área de industria a medidores industriales, en perfilaje de pozos e irradiadores como mínimo una vez al año, y a instalaciones que realizan gammagrafía industrial cada seis meses como mínimo.
6. Realizar inspecciones en el área de medicina nuclear, a los laboratorios que realizan ensayos de rianálisis cada dos años, a las instalaciones en donde se realizan tratamientos con fuentes no selladas, una vez al año como mínimo; y a las instalaciones de radioterapia, cada seis meses como mínimo.

## XI. BIBLIOGRAFÍA

Alonso Santos A., Barrachina Gómez M., Caro Manso R., Cerrolaza Asenjo J., Granados Gonzalez C., López Rodríguez M., Palacios Súnico L., Pedro Herrera F., 1973 . *Léxico de términos nucleares*. Sección de publicaciones de la J. E. N. Madrid. 730 Págs.

Balek, V. 1994. *Gestión de desechos radiactivos. Panorama de la gestión de desechos en los países de Europa central y oriental*. Viena. 42 Págs.

Dellamano, J. 1993. *Rejeitos Radioativos*. Sao Paulo. 41 Págs.

España. Ministerio de Industria y Energía. 1994. *Cuarto plan general de residuos radiactivos*. RGB editorial. España. 48 Págs.

Gómez, P. 1993. *Situación actual de la gestión de los desechos radiactivos en Guatemala*. Guatemala. 6 Págs.

Guatemala. 1986a. *Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes. Decreto Ley No. 11-86*. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. Guatemala. 12 Págs.

\_\_\_\_\_. 1986b. *Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente, y sus reformas*. Decreto Legislativo No. 68-86. Instituto de Derecho Ambiental y Desarrollo Sustentable (IDEADS). 4ta. Edición. Guatemala. 47 Págs.

\_\_\_\_\_. 1992. *Reglamento de Licencias en Materia de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes. Acuerdo Gubernativo No. 989-92*. Ministerio de Energía y Minas, Dirección General de Energía. Guatemala. 24 Págs.

- \_\_\_\_\_. 1998. *Reglamento de Gestión de Desechos Radiactivos*. Acuerdo Gubernativo No. 559-98. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Guatemala. 19 Págs.
- \_\_\_\_\_. 2001a. *Tarifas que se indican para el cobro de los análisis que practiquen los laboratorios de la Dirección Administrativa y de la Dirección General de Energía del Ministerio de Energía y Minas*. Acuerdo Gubernativo No. 476-2001. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Guatemala. 3 Págs.
- \_\_\_\_\_. 2001b. *Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes y sus reglamentos*. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Guatemala. 74 Págs.
- Cuba. *Agencia de energía Nuclear. Ministerio de Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente. 2000. Requisitos de aceptación a los desechos radiactivos que van a ser retirados*. Centro de protección e higiene de las radiaciones. Habana. 14 Págs.
- MEM-DGE. 2002a. *Registro de instalaciones radiactivas. Área de industria*. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Departamento de Protección Radiológica. 2002. Guatemala.
- \_\_\_\_\_. 2002b. *Registro de instalaciones radiactivas. Área de radioterapia*. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Departamento de Protección Radiológica. 2002. Guatemala.
- \_\_\_\_\_. 2002c. *Registro de instalaciones radiactivas. Área de medicina nuclear*. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Departamento de Protección Radiológica. 2002. Guatemala.

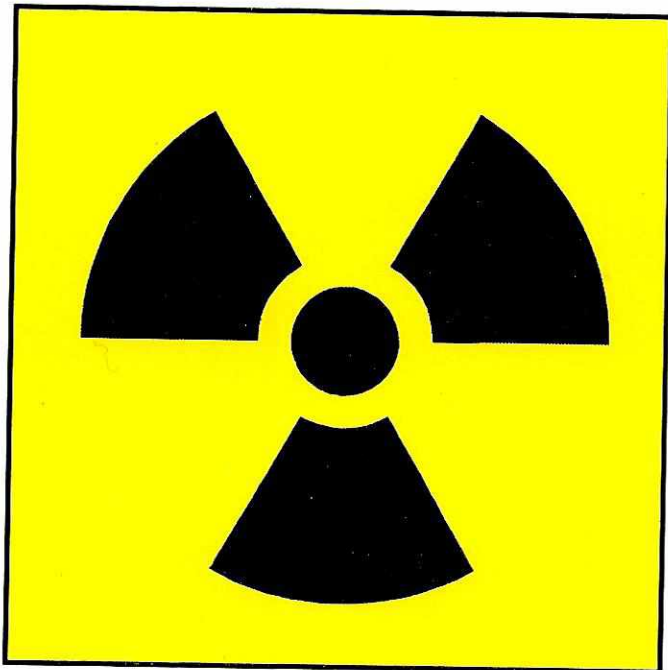
- \_\_\_\_\_. 2002d. *Registro de fuentes en desuso de la DGE*. Ministerio de Energía y Minas. Dirección General de Energía. Departamento de Protección Radiológica. 2002. Guatemala.
- OIEA. 1958. *Manipulación sin riesgo de los radioisótopos*. Colección Seguridad. No. 1. Viena. 107 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1970. *Gestión de desechos radiactivos*. Viena. 22 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1982. *Evacuación Subterránea de desechos radiactivos*. Colección Seguridad No. 54. Viena. 62 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1990. *Waste Management Advisory Programme, WAMAP*. Viena. 35 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1996a. *Principios para la gestión de desechos radiactivos*. Colección Seguridad No. 111-F. Viena. 23 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1996b. *Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*. Colección Seguridad ST-1, Viena. 236 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1996c. *Establecimiento de un sistema nacional de gestión de desechos radiactivos*. Colección Seguridad No. 111-S-1. Viena. 37 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1997a. *Normas básicas internacionales de la protección contra la radiación ionizantes y para la seguridad de las fuentes de radiación*. Colección Seguridad No. 115. Viena. 363 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1997b. *Métodos para la identificación y localización de fuentes radiactivas gastadas*. Viena. 90 Págs.
- \_\_\_\_\_. 1998. *Modelo de reglamento sobre gestión de desechos radiactivos y su aplicación*. Proyecto de documento. 4ta. Edición. Viena. 37 Págs.

\_\_\_\_\_. 2001. *Código de Conducta sobre la seguridad tecnológica y la seguridad física de las fuentes radiactivas*. Viena. 8 Págs.

Sociedad Nuclear Española. 1994. *Generación y Gestión de Residuos de Baja Radiactividad. Exención y desclasificación*. Senda Editorial, S.A. España. 109 Págs.

## XII. APÉNDICE 1.

Etiqueta proporcionada por la Autoridad Regulatoria Nacional  
a los generadores de desechos radiactivos



# ¡PRECAUCION! DESECHOS RADIATIVOS

RADIONUCLEIDO (S): \_\_\_\_\_

PROCEDENCIA: \_\_\_\_\_

FECHA: \_\_\_\_\_

CANTIDAD: \_\_\_\_\_

OBSERVACIONES: \_\_\_\_\_

DIRECCION GENERAL  
DE ENERGIA NUCLEAR

## APÉNDICE 2

### Cuadro 9. Operación de las variables

VARIABLES	INDICADORES	TÉCNICAS O FORMAS DE MEDICIÓN	INSTRUMENTO	RESPONDIENTE
Gestión de los desechos radiactivos	Identificación de instalaciones	¿Qué instalaciones utilizan material radiactivo?	Hoja de cotejo	Registros DGE
	Gestión de los desechos radiactivos en Industria	¿Cómo realizan la gestión de los desechos radiactivos las industrias?	Hoja de cotejo	Registros DGE
	Gestión de los desechos radiactivos en radioterapia	¿Cómo realizan la gestión de los desechos radiactivos ?	Hoja de cotejo	Registros DGE
	Gestión de los desechos radiactivos en Medicina nuclear	¿Cuáles son las etapas para la gestión de desechos?	Hoja de cotejo	Registros DGE
	Gestión de las fuentes en desuso en la DGE	¿Cómo realizan la gestión de las fuentes en desuso?	Hoja de cotejo	Registros DGE
Regulación sobre Gestión de Desechos Radiactivos	Requisitos técnicos para la gestión de desechos radiactivos	¿Cuáles son los requisitos técnicos que se requieren para la gestión de desechos radiactivos?	Cuestionario	Usuarios de material radiactivo
	Procedimientos para la gestión de desechos radiactivos	¿Qué procedimientos son necesarios para la gestión de desechos radiactivos?	Cuestionario	Usuarios de material radiactivo

### APÉNDICE 3.

#### Cuestionario 1. Requisitos técnicos para la gestión de desechos radiactivos

##### 1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de la instalación:					
Dirección completa de la instalación					
Teléfono (s):		No. De fax:		e-mail:	
No. de licencia de operación de la instalación			Fecha de emisión:	Fecha de vencimiento:	
Nombre del representante legal					
Fecha:					

##### 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

##### 3. PREGUNTAS:

1. ¿Realizan una clasificación de los desechos?

---

2. ¿Cómo realizan la clasificación de los desechos?

---



---

3. Mencione dos responsabilidades de los usuarios relacionadas a la gestión de los desechos radiactivos:

---



---

4. Mencione los procedimientos de segregación que conoce:

---

## Cuestionario 2. Procedimientos para la gestión de desechos radiactivos

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de la instalación:					
Dirección completa de la instalación					
Teléfono (s):		No. De fax:		e-mail:	
No. de licencia de operación de la instalación			Fecha de emisión:	Fecha de vencimiento:	
Fecha:					

### 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

### 3. PREGUNTAS:

1. Mencione la clasificación de los desechos radiactivos de acuerdo a la normativa vigente en el país:

---



---



---

2. ¿Cuáles son los procedimientos para el manejo de desechos radiactivos?

---



---



---

3. Mencione los requerimientos para la autorización de eliminación de los desechos radiactivos al ambiente.

---



---



---

## APÉNDICE 4.

### Hoja de Cotejo 1. Tratamiento previo para desechos líquidos y sólidos

A.

#### 1. INFORMACIÓN GENERAL

<b>Nombre de la Instalación:</b>					
<b>Dirección completa De la instalación</b>					
<b>Teléfono (s):</b>		<b>No. De fax:</b>		<b>e-mail:</b>	
<b>No. de licencia de operación de la instalación</b>			<b>Fecha de emisión:</b>	<b>Fecha de vencimiento:</b>	
<b>Fecha:</b>					

B.

#### 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

C.

#### 3. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

No.	Requisito	Si	No	No aplica
<b>a)</b>	<b>Desechos líquidos</b>			
1.	¿Existe un lugar específico para almacenar los desechos?			
2.	¿Se hace una clasificación de los desechos de acuerdo a la vida media?			
3.	¿Los desechos se recolectan en recipientes adecuados?			
4.	¿Están identificados adecuadamente los recipientes de los desechos?			
5.	¿Son radiológicamente seguras las condiciones de almacenamiento de los desechos radiactivos?			
<b>b)</b>	<b>Desechos sólidos</b>			
1.	¿Existe un lugar específico para almacenar los desechos?			
2.	¿Se hace una clasificación de los desechos de acuerdo a la vida media?			
3.	¿Los desechos se recolectan en recipientes adecuados?			
4.	¿Están identificados adecuadamente los recipientes de los desechos?			
5.	¿Son radiológicamente seguras las condiciones de almacenamiento de los desechos radiactivos?			

## Hoja de Cotejo 2. Tratamiento para desechos líquidos, y sólidos

A.

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de la instalación:					
Dirección completa De la instalación					
Teléfono (s):		No. de fax:		e-mail:	
No. de licencia de operación de la instalación				Fecha de emisión:	Fecha de vencimiento:
Fecha:					

### B.2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIOACTIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

### C. 3. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIOACTIVOS

No.	Requisito	Si	No	No aplica
<b>a)</b>	<b>Desechos líquidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro de los desechos que se descargan al ambiente?			
2.	¿Se lleva un registro de los desechos que se descargan al ambiente?			
3.	¿Neutralizan los desechos?			
4.	¿Precipitan los desechos?			
5.	¿Inmovilizan los desechos?			
<b>b)</b>	<b>Desechos sólidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro de los desechos que se descargan al ambiente?			
2.	¿Se realiza una reducción de volumen de los desechos sólidos?			
3.	¿Se eliminan al ambiente los desechos sólidos?			
4.	¿Cuentan con recipientes especiales para el tratamiento de desechos sólidos?			
5.	¿Cuentan por escrito con la técnica de tratamiento de desechos sólidos?			

## Hoja de Cotejo 3. Acondicionamiento para desechos líquidos, y sólidos

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

Nombre de la instalación:					
Dirección completa De la instalación					
Teléfono (s):		No. de fax:		e-mail:	
No. de licencia de operación de la instalación			Fecha de emisión:	Fecha de vencimiento:	
Fecha:					

### 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

### 3. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

No.	Requisito	Si	No	No aplica
<b>a)</b>	<b>Desechos líquidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro del acondicionamiento de los desechos?			
2.	¿Tienen conocimiento de los diferentes tipos de acondicionamiento que existen para cada desecho líquido generado?			
3.	¿Han tenido capacitación sobre acondicionamiento de los desechos líquidos?			
4.	¿Gestionan con tiempo el acondicionamiento de los desechos líquidos?			
5.	¿Se considera el transporte de los desechos líquidos para el acondicionamiento?			
<b>b)</b>	<b>Desechos sólidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro del acondicionamiento de los desechos?			
2.	¿Tienen conocimiento de los diferentes tipos de acondicionamiento que existen para cada desecho sólido generado?			
3.	¿Han tenido capacitación sobre acondicionamiento de los desechos sólidos?			
4.	¿Gestionan con tiempo el acondicionamiento de los desechos sólidos?			
5.	¿Se considera el transporte de los desechos sólidos para el acondicionamiento?			

## Hoja de Cotejo 4. Evacuación de desechos líquidos, y sólidos

### 1. INFORMACIÓN GENERAL

<b>Nombre de la instalación:</b>				
<b>Dirección completa de la instalación</b>				
<b>Teléfono (s):</b>		<b>No. de fax:</b>		<b>e-mail:</b>
<b>No. de licencia de operación de la instalación</b>			<b>Fecha de emisión:</b>	<b>Fecha de</b>
				<b>vencimiento:</b>
<b>Fecha:</b>				

### 2. DESCRIPCIÓN DEL MATERIAL RADIATIVO QUE SE ESTA USANDO

Radionucleido	Actividad máxima que se utiliza	Forma física o química	Aplicación

### 3. ETAPAS BÁSICAS DE LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

No.	Requisito	Si	No	No aplica
<b>a)</b>	<b>Desechos líquidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro de la evacuación de los desechos?			
2.	¿Tienen conocimiento de los criterios para la evacuación de desecho líquido generado?			
3.	¿Han tenido capacitación sobre evacuación de los desechos líquidos?			
4.	¿Usan criterios de protección radiológica para la evacuación de desechos líquidos?			
5.	¿Se informa a la ARN sobre el tratamiento de los desechos líquidos?			
<b>b)</b>	<b>Desechos sólidos</b>			
1.	¿Se lleva un registro de la evacuación de los desechos?			
2.	¿Tienen conocimiento de los criterios para la evacuación de desecho sólido generado?			
3.	¿Han tenido capacitación sobre evacuación de los desechos sólidos?			
4.	¿Usan criterios de protección radiológica para la evacuación de desechos sólidos?			
5.	¿Se informa a la ARN sobre el tratamiento de los desechos sólidos?			

## APÉNDICE 5.

### GLOSARIO

**Accidente:** Todo suceso involuntario, incluido un error de operación, fallo de equipo u otro percance, cuyas consecuencias reales o potenciales no radiación con Cobalto 60.

**Control institucional:** control de un emplazamiento de desechos, por una autoridad o institución designada con arreglo a las leyes de un país o Estado. Este control puede ser activo (vigilancia, supervisión, acciones reparadoras) o pasivo (control del uso de la tierra).

**Descarga ordinaria:** liberación de radionucleidos al medio ambiente hecha de manera planificada y controlada. Las liberaciones de esta índole deben ajustarse a todas las restricciones que imponga el órgano regulador correspondiente.

**Desechos de período largo:** desechos radiactivos portadores de radionucleidos de período largo con suficiente radiotoxicidad en cantidades o concentraciones que requieren el aislamiento a largo plazo respecto de la biosfera. El término "radionucleido de período largo" se refiere a períodos de semidesintegración normalmente mayores de 30 años.

**Desechos exentos:** en el contexto de la gestión de desechos radiactivos, desechos que se declaran exentos del control reglamentario nuclear en conformidad con los niveles de dispensa, por considerarse insignificantes los riesgos radiológicos conexos. Es posible identificarlos en función de la concentración de actividad o de la actividad total, y especificar en la identificación el tipo, la forma química o física, la masa o el volumen de los desechos.

**Gestión de desechos radiactivos:** todas las actividades administrativas y operacionales necesarias para la manipulación, el tratamiento previo, el

tratamiento, el acondicionamiento, el almacenamiento o evacuación de los desechos.

**Incidente:** Suceso o anomalía de carácter técnico que, aunque no afecte directa ni inmediatamente a la seguridad, originará probablemente una reevaluación de las disposiciones en materia de seguridad.

**Licencia:** Documento oficial prescrito por la ley, extendido por el órgano regulador, para la ejecución de determinadas actividades relacionadas con el emplazamiento, diseño, construcción, puesta en servicio, explotación y clausura de una instalación nuclear, el cierre de una instalación de evacuación, el desbloqueo de un emplazamiento de acumulación de colas de extracción y tratamiento mineros, o el control institucional.

**Radioterapia:** empleo de radiaciones ionizantes con fines terapéuticos.

**Teleterapia:** Modalidad de radioterapia en la que la fuente radiactiva no se sitúa en contacto con el tejido enfermo.

**Reglamentación sobre desechos radiactivos en Guatemala.**

<b>Nombre</b>	<b>No.</b>	<b>Fecha</b>
Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones ionizantes	Decreto Ley 11-86	10-1-86
Ley de Protección y Mejoramiento del Medio Ambiente	Decreto legislativo 68-86	28-11-86
Reglamento de Licencias en Materia de Radioisótopos y Radiaciones Ionizantes.	Acuerdo Gubernativo 989-92 Derogado	01-12-92
Reglamento para la Gestión de Desechos Radiactivos	Acuerdo Gubernativo 558-98	04-08-98
Reglamento de Seguridad y Protección Radiológica de la Ley para el Control, Uso y Aplicación de Radioisótopos y Radiaciones ionizantes.	Acuerdo Gubernativo 55-2001	14-02-02

**APÉNDICE 7.****ACRÓNIMOS**

ARN	Autoridad Regulatoria Nacional
CENDRA	Centro Nacional de Desechos Radiactivos
DGE	Dirección General de Energía
MEM	Ministerio de Energía y Minas
OIEA	Organismo Internacional de Energía Atómica
ONU	Organización de las Naciones Unidas

