



GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS EN MÉXICO

Miguel Emeterio Hernández

¹Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares
Km 36.5, Carretera México-Toluca, Mpio. de Ocoyoacac, Edo. de México.
E mail: meh@nuclear.inin.mx; fm@nuclear.inin.mx

Resumen

El manejo de desechos en toda situación convencional suscita una serie de cuestiones políticas, sociales, económicas y sobre todo el de no aceptación por parte de la población de las instalaciones tanto de tratamiento así como las de almacenamiento para la disposición de desechos. Es evidente que los materiales de desecho radiactivo, no son la excepción, estos materiales para los que no se prevé uso alguno, son generados en México por diversas aplicaciones no energéticas: Industriales, Medicas y de Investigación, generando volúmenes considerables de diversos materiales en los cuales se encuentran inmersos radionúclidos convirtiéndolos así en desechos radiactivos, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares de México recibe una gran variedad de desechos radiactivos sólidos y líquidos, los cuales cumplen las etapas de recepción y recolección, caracterización, clasificación y segregación, tratamiento, acondicionamiento, calificación de bultos y almacenamiento final.

En la gestión de desechos radiactivos existen puntos por resolver, uno de ellos el tratamiento que reduzca su volumen con el mínimo impacto al ambiente y a la población, para ello se plantea un proyecto de degradación térmica, aplicando plasma térmico y campo electro magnético otro punto por resolver es la calificación de los materiales inmovilizantes de los desechos radiactivos, para esta parte se propone un proyecto de laboratorio para calificar estos materiales y los bultos generados; el punto mas álgido por resolver es ubicar y calificar un sitio para la disposición de estos desechos radiactivos.

1. INTRODUCCIÓN

Considerando que el desarrollo de cualquier país en sus diversas áreas: industrial, comercial, medica, de investigación, etc. genera desechos sólidos, líquidos y gaseosos. Clasificándolos por su origen en: municipales e industriales. En el contexto de los desechos se sabe que la aplicación industrial es la mayor fuente generadora de desechos peligrosos, en la norma oficial mexicana NOM-052-ECOL-1993, se encuentran las características que hacen un residuo peligroso, y en estos desechos peligrosos se ubica a los desechos radiactivos, lo que nos conduce a toda una reglamentación y normativa nacional específica para desechos radiactivo tema de este trabajo.

El conocimiento en el área nuclear y radiactiva, en especial la generación de desechos radiactivos, es esencial para lograr el objetivo prioritario de protección al ser humano y al ambiente. En México, el responsable de gestionar los desechos radiactivos generados por hospitales, industrias y centros de investigación es la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos (PATRADER) del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, ubicada en el Km-36.5 de la carretera México-Toluca, Ocoyoacac estado de México.

Las tecnologías aplicadas en la gestión de desechos radiactivos por la PATRADER, tienen por objetivo disminuir su volumen para poder ser aislados y confinados en un lugar adecuado, para evitar su

dispersión incontrolada hacia la biosfera. No obstante, la disposición final de algunos de estos desechos, todavía no ha sido definida, debido a varios factores: falta de equipamiento y personal capacitado para realizar esta difícil tarea, pero en particular, a la ausencia de una política definida de gestión de desechos radiactivos por el gobierno mexicano, quien debe establecer la política nacional a seguir para dar solución a este problema de seguridad ambiental y salud; para salvaguardar a la población, al ambiente y a las generaciones futuras de sus efectos, sin comprometer el uso de las tecnologías que aplican radioactividad para beneficio de la sociedad.

2. DESECHOS RADIATIVOS

Conforme al Reglamento General de Seguridad Radiológica un desecho radiactivo es cualquier material que contenga o esté contaminado con radionúclidos o concentraciones o niveles de radiactividad, mayores a las señaladas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (Tabla 1 y 2) para el cual no se prevé uso alguno. Las tabla 1 y 2 presentan algunos elementos radiactivos de vida media larga (> 5 años) y corta (< 5 años) que pueden estar presentes en materiales considerados como desechos radiactivos. Los valores reportados en Bq/m^3 (Bequerels) o Ci/m^3 (Curies) para cada radionúclido, establecen los niveles de actividad (concentración) mínima, considerados en la clasificación de los desechos radiactivos en: nivel bajo clase A, B, C, nivel intermedio y nivel alto [4].

Tabla 1

Concentraciones de referencia para la clasificación de desechos radiactivos que contengan radionúclidos de vida media larga.

Radionúclidos	Concentración 10^{10}	
	Bq/m^3	Ci/m^3
^{14}C	29.6	8.0
^{14}C en metal activado	296.0	80.0
^{59}Ni en metal activado	814.0	220.0
^{94}Nb en metal activado	0.74	0.2
^{99}Tc	11.1	3.0
^{129}I	0.296	0.08
Radionúclidos emisores alfa con una vida mediamayor de 5 años, excepto el uranio	3.7^a	100.0^b
^{241}Pu	129.5^a	3500.0^b
^{242}Cm	740.0^a	20000.0^b

^a Las unidades son 10^3 Bq por gramo.

^b Las unidades son nanocuries por gramo



Tabla 2

Concentraciones de referencia para la clasificación de desechos radiactivos que contengan radionúclidos de vida media corta.

Radionúclidos	Concentración	
	10^{10} Bq/m ³	(Ci/m ³)
Todos los radionúclidos con vida media menor de 5 años	2590.0 (700.0)	*
³ H	148.0 (40.0)	*
⁶⁰ Co	2590.0 (700.0)	*
⁶³ Ni	12.95 (3.5)	259.0 (70.0)
⁶³ Ni en metal activado	129.5 (35.0)	2590.0 (700.0)
⁹⁰ Sr	0.148 (0.04)	555.0 (150.0)
¹³⁷ Cs	3.7 (1.0)	162.8 (44.0)

(*) No existen límites establecidos para estos radionúclidos.

De acuerdo con la NOM-028-NUCL-1996 [9].

Todos los desechos generados durante la preparación y aplicación del material radiactivo, deben considerarse como desechos radiactivos si las lecturas del nivel de radiación a contacto, son mayores a las del fondo natural existente en los alrededores de la instalación.

Los desechos contaminados con radionúclidos emisores alfa y radionúclidos emisores beta con energías menores a 1 Mev, se consideran como desechos radiactivos.

Una vez definido lo que se considera un material de desecho radiactivo es indispensable saber donde se generan este tipo de desechos.

3. GENERADORES DE DESECHOS EN MÉXICO

3.1 Desechos Institucionales.

Son aquellos procedentes de hospitales, centros de investigación y de aplicaciones industriales. Los volúmenes generados por las instituciones mencionadas son generalmente bajos y es común que no estén bien clasificados e identificados, lo cual dificulta su posterior manejo en la Planta de Tratamiento de Desechos Radiactivos.

a) Materiales radiactivos de desechos en el ININ

El Departamento de Desechos Radiactivos recibe desechos de origen inorgánicos (sales inorgánicas, arcillas, jales de uranio, torio, etc.) y orgánicos (papel, guantes, botellas de plástico, algodón, ropa, líquidos orgánicos utilizados en equipo de centelleo líquido) hasta sólidos biológicos (cuerpos de animales) (Fig. 1) contaminados con diversos radionúclidos cuyas vidas medias varían desde unos cuantos días hasta miles de años (ver Tabla 3).



Fig. 1 Desechos sólidos y líquidos que se reciben en la PATRADER para su gestión.

b) Cantidad de desechos radiactivos recibida en el ININ

En México, el Departamento de Desechos Radiactivos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, en promedio recibe anualmente 4.5 m³ de desechos líquidos (fig. 2) y 15 m³ de desechos sólidos (Fig. 3) de diversas composiciones químicas y aproximadamente 250 fuentes radiactivas selladas en desuso. A excepción de los desechos radiactivos generados por la Central Nucleo eléctrica Laguna Verde quien gestiona sus propios desechos.



Tabla 3.
Radionúclidos encontrados en los desechos gestionados por la PATRADER

RADIOISÓTOPO	SÍMBOLO	VIDA MEDIA	TIPO DE DESECHO
Tritio	H-3	12.33 años	Estos radioisótopos son los materiales radiactivos que se encuentran con mayor frecuencia embebidos en los diferentes desechos radiactivos sólidos, líquidos, biológicos y fuentes selladas agotadas en desuso.
Carbono-14	C-14	5730 años	
Azufre-35	S-35	87.4 días	
Sodio-22	Na-22	2.6 años	
Fósforo-32	P-32	14.28 días	
Calcio-45	Ca-45	165 días	
Cromo-51	Cr-51	27.7 días	
Cobalto-60	Co-60	5.27 años	
Zinc-65	Zn-65	244.1 días	
Galio-67	Ga-67	78.3 horas	
Bromo-82	Br-82	35.34 horas	
Rubidio-86	Rb-86	18.8 días	
Molibdeno-99	Mo-99	66 horas	
Tecnecio-99m	Tc-99m	6.02 horas	
Yodo-125	I-125	60.2 días	
Yodo-131	I-131	8 días	
Cesio-134	Cs-134	2.06 años	
Samario-153	Sm-53	46.8 horas	
Talio	Tl-204	3.77 años	
Uranio-natural	U	7x10 ⁸ años	
Americio-241	Am-241	433 años	



Fig.2 Desechos líquidos almacenados en la PATRADER



Fig. 3 Desechos sólidos almacenados en la PATRADER



3.2 Desechos de plantas nucleares de potencia

En los países en donde existe un programa nuclear, la mayor parte de los desechos provienen de las actividades relacionadas con el ciclo de combustible nuclear.

Un reactor de 1,000 MWe genera durante su operación normal de 200 a 500 m³ anuales de desechos radiactivos de niveles bajo e intermedio. Cuando se proceda al desmantelamiento del reactor al final de su vida útil, se generan entre 8,000 y 20,000 m³. En condiciones de incidente o accidente, se generarían cantidades adicionales de desechos que pueden ser importantes.

Este ejemplo de los desechos que se generan en una planta nuclear de generación de energía eléctrica, es el caso similar de México el cual cuenta con un reactor de 1200 MWe, generando aproximadamente los volúmenes descritos anteriormente.

Con las características de los desechos de instituciones y plantas nucleares de potencia se clasifican a los desechos radiactivos generados en México.

4. CLASIFICACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

Los desechos radiactivos se clasifican en la NOM-004-NUCL-1994, definiendo cada una de las clases de desechos radiactivos, de acuerdo con su concentración, actividad y vida media de los radionúclidos presentes en:

- **Nivel alto.-** Provenientes del reprocesamiento de combustibles gastados, estos desechos contienen elementos transuránicos y productos de fisión altamente radiactivos, generan calor y tienen vida media larga por lo que se requiere de blindaje y enfriamiento.
- **Nivel intermedio.-** Desechos que se generan durante la operación de centrales nucleares de potencia. No generan suficiente calor para requerir enfriamiento pero su nivel de radiactividad hace necesario el uso de blindajes para su manipulación.
- **Nivel bajo.-** Contienen cantidades despreciables de radionúclidos de vida media larga; producidos generalmente de la aplicación de radioisótopos en medicina, industria, e investigación. Producidos también en la generación de energía eléctrica. Estos desechos pueden ser manejados sin blindajes y sin enfriamiento.
- **Mixtos.-** Son aquellos que contienen también residuos peligrosos conforme a la NOM-052-ECOL-1993, en general son desechos radiactivos generados por las instituciones y empresas dedicadas a la investigación y aplicaciones de los radionúclidos.
- **Jales de uranio y torio.-** Como en todo proceso de minería no todo es mineral de interés y de esto no todo el material se recupera, en el caso del uranio, los remanentes sólidos y líquidos de uranio en las rocas encajonantes y los líquidos del proceso de concentración es a lo que se les conoce como jales, en los cuales el material remanente es el uranio y el torio. En México los lugares que tiene jales de torio y uranio son La Piedrera y Peña blanca en el estado de Chihuahua, donde en la década de los setentas se llevó acabo la extracción del uranio, con el objetivo de producir combustible para los reactores nucleares mexicanos.



5. ETAPAS DE LA GESTION DE DESECHOS RADIATIVOS

En México la gestión adecuada de los desechos radiactivos incluye varias etapas como las siguientes:

a) Recolección de desechos

En la recolección de desechos radiactivos se debe tomar en cuenta el tipo, forma y cantidad de los desechos generados, estos desechos se transportan de la instalación del generador en un vehículo de transporte específico a la planta de tratamiento de desechos radiactivos (PATRADER).

En la recolección de desechos sólidos, el usuario debe poseer contenedores de plástico en las áreas de trabajo para depositar sus desechos teniendo en cuenta su actividad y tipo de radioisótopo así como los niveles de radiación de éstos.

En la recolección de desechos líquidos, el usuario debe contar con garrafones de plástico de diferentes volúmenes rotulados con la leyenda que manifieste la clase de líquido, el tipo de radioisótopo, actividad, fecha, volumen y usuario.

Para llevar a cabo una recolección o recepción de desechos radiactivos, es indispensable solicitar previamente el servicio, éste es registrado y se solicita al generador de desechos copia de su licencia de uso y posesión de material radiactivo expedida por la CNSNS. Una vez colectados los desechos, se verifica rapidez de exposición, radioisótopo, tipo de desecho, cantidad en volumen y concentración radiactiva. Estos datos se anotan en la hoja de registro, la que firman tanto el que entrega los desechos como el que los recibe quedando una copia al generador y el original para el receptor. Una vez recibidos los desechos se colocan en contenedores específicos en el vehículo de transporte y finalmente se trasladan a la PATRADER.

b) Caracterización

Antes de iniciar cualquier tratamiento de desechos radiactivos es necesario saber qué radionúclidos y qué cantidad están presentes ya que de esto depende el tipo de tratamiento a que serán sometidos en la planta de tratamiento de desechos radiactivos.

Por ejemplo si un determinado usuario de material radiactivo que emplea en específico fósforo-32, tritio-3, azufre-35, calcio-45 etc. de los cuales, desecha líquidos y sólidos contaminados con estos radioisótopos y además nos reporta que se encuentra contaminado un equipo que le interesa y requiere ocupar nuevamente en su proceso, el personal encargado de la recolección o recepción de estos materiales radiactivos, toma los datos de concentración en sólidos y líquidos del material radiactivo, así como la rapidez de exposición en estos materiales de desecho y de los materiales a descontaminar. Los sólidos se envían a compactación o descontaminación, los líquidos a precipitación, intercambio iónico o vitrificación y finalmente a descontaminación los equipos o herramientas de interés para el usuario.

c) Clasificación y segregación para el proceso de tratamiento

En la planta de tratamiento de desechos radiactivos del ININ, Desde el punto de vista del tratamiento que se aplica a los desechos radiactivos, se les clasifican en sólidos y líquidos. A su vez, los sólidos se clasifican en compresibles, incinerables y otros; los líquidos en orgánicos e inorgánicos.

Por ejemplo, sólidos compresibles son las jeringas, viales, tubos de ensayo, los sólidos incinerables son papel, algodón, vestuario de protección radiológica.



d) Tratamiento

El tratamiento de los desechos radiactivos tiene como finalidad disminuir al máximo la concentración del material radiactivo para minimizar la descarga de radioisótopos al ambiente, lográndose además acondicionar el desecho para su transporte y disposición. Los desechos se someten al tratamiento que más convenga según sus características físicas, químicas y radioquímicas. Los desechos que contienen radioisótopos de vida media corta (del orden de días) se les deja decaer durante 10 vidas medias y se liberan como basura convencional. Ejemplos: I-131 ($T_{1/2} = 8.02$ días), P-32 ($T_{1/2} = 14.3$ días). Muchos desechos sólidos que se reciben en la PATRADER se compactan, otros se descontaminan. Los desechos líquidos acuosos se tratan por evaporación, precipitación, filtración o intercambio iónico. Por ejemplo, los líquidos contaminados con fósforo-32 una vez caracterizados clasificados y segregados se lotifican en volúmenes de 400 litros para someterlos a proceso de precipitación para su posterior filtración o decantación. Los líquidos orgánicos pueden tratarse por incineración, cementación u oxidación a temperaturas elevadas. Sin embargo en la PATRDER del ININ solo se almacenan dada la falta de infraestructura para llevar a cabo los procesos mencionados para estos desechos.

e) Acondicionamiento

Antes de ser enviados al almacén, los desechos son inmovilizados y envasados en contenedores metálicos apropiados para evitar dispersión durante su transporte y almacenamiento. Los métodos de inmovilización más comunes son: cementación, bituminización, inmovilización en polímeros y vitrificación. En la tabla 4 se presentan algunos agentes solidificantes.

Tabla 4.-
Agentes solidificantes

AGENTE SOLIDIFICANTE	TIPO DE DESECHO		
	bajo	intermedio	alto
Cemento	x	x	x
Asfalto	x	x	
Resina Urea	x	x	
Resina poliéster			x
Vidrio			x
Cerámica			x



En la planta de tratamiento de desechos radioactivos del ININ, solo se aplica el acondicionamiento usando cemento como material solidificante. Se han llevado a cabo pruebas con bitumen, cemento y resina poliéster para inmovilizar resinas perlíticas de intercambio iónico contaminadas principalmente con Cobalto-60, procedentes de la purificación de agua de la piscina del reactor nuclear de investigación TrigaMark III del ININ.

f) Calificación de Bultos

Los bultos acondicionados deben ser calificados para asegurar su comportamiento adecuado a largo plazo en un almacén definitivo. Las pruebas de calificación incluyen entre otras (Tabla 5): resistencia a la compresión axial, a la corrosión, a la radiación, a la temperatura y a la lixiviación por inmersión en agua. Un bulto no calificado no puede ser recibido en un almacén calificado, esto de acuerdo a lo establecido en la norma oficial mexicana NOM-019-NUCL-1995 "Requerimientos para bultos de desechos radioactivos de nivel bajo para su almacenamiento definitivo cerca de la superficie".

Las dimensiones de las muestras conteniendo desechos radioactivos en forma de resina perlítica de intercambio iónico fueron de 5x5x5 cm.

g) Disposición final

La disposición de los desechos acondicionados en su última fase de la gestión tiene como propósito principal aislarlos del medio ambiente humano que garantice una contención efectiva durante 300 años. Para el caso específico de la PATRADER del ININ no cuentan con un almacén para disposición final de desechos radioactivos como lo establece la norma oficial mexicana NOM-022-NUCL-1996 "Requerimientos para una instalación para el almacenamiento definitivo de desechos radioactivos de nivel bajo cerca de la superficie", hasta el momento la PATRADER cuenta con un almacén de tipo transitorio, el cual se encuentra ubicado en el Km. 18.5 de la carretera Tizayuca a Otumba, poblado de Santa María Maquixco, municipio de Temascalapa, Estado de México. Donde dispone todos los desechos radioactivos sólidos gestionados en el ININ a excepción de los desechos radioactivos líquidos, que se almacenan en la PATRADER del ININ.



Tabla 5
Requerimientos para bultos de desechos radiactivos de nivel bajo para su almacenamiento definitivo cerca de la superficie
Pruebas realizadas en el Departamento de Desechos Radiactivos del ININ, aplicadas a bitumen, cemento y poliéster.

Requerimientos Normativos		Resultados Obtenidos		
Prueba	Parámetro o característica que debe cumplir	Bitumen	Cemento	Poliéster
Resistencia a la lixiviación	La velocidad de lixiviación en régimen casi permanente para cada muestra será de $6 \times 10^{-10} \text{ m/s}$	No tuvo problemas y su velocidad fue de $1.10 \times 10^{-12} \text{ m/s}$	Las muestras se fracturaron y reventaron	No tuvo problemas y su velocidad fue de $1.61 \times 10^{-12} \text{ m/s}$
Resistencia bajo carga	Soportara una carga de 0.35 MPa con una deformación no mayor al 3%	Soportan 0.25 MPa con una deformación de 15%	Soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.7%	Soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.4%
Resistencia a ciclos térmicos	Resistir cambios térmicos de -30 a 60 °C y no tener variaciones en la resistencia mecánica	Presento cambios físicos (se deformaron las muestras)	No tuvo problemas y soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.6%	No tuvo problemas y soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.4%
Resistencia a la irradiación	La variación a la resistencia mecánica no debe ser mayor a 20 %	Presenta desprendimiento de elementos volátiles	No tiene problemas y soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.5%	No tiene problemas y soportan 0.35 MPa con una deformación de 1.3%
Resistencia a bacterias	Las muestras se colocaran en un medio de cultivo inoculado con bacterias 21 días, verificando el crecimiento de bacterias en las muestras	No se presento crecimiento de bacterias, ni degradación	No se presento crecimiento de bacterias, ni degradación	No se presento crecimiento de bacterias, ni degradación
Determinación de liquido libre	Al estar secas las muestras se colocaran en la mufla por 30 Min. a 22 °C , se pesaran sucesivamente hasta obtener peso constante y no debe de variar mas del 0.5 %	La diferencia de peso fue de 0.0057%	La diferencia de peso fue de 0.0057%	La diferencia de peso fue de 0.0065%
Resistencia a quemado (horizontal y vertical)	Resistira a flama directa durante 30 seg.	Se incendio y presento desprendimiento de material	No se incendio y no presento desprendimiento de material	Se incendio y no presento desprendimiento de material

6. ALTERNATIVA

6.1 Tratamiento de desechos radiactivos

En la gestión de desechos radiactivos en México existen puntos por resolver, uno de ellos el tratamiento que reduzca su volumen con el mínimo impacto al ambiente y a la población, para ello se plantea un proyecto de degradación térmica, empleando plasma térmico y campo electro magnético, este proceso deberá cumplir con los requerimientos de la normativa nacional e internacional aplicables.

6.2 Calificación de materiales inmovilizantes y bultos de desechos

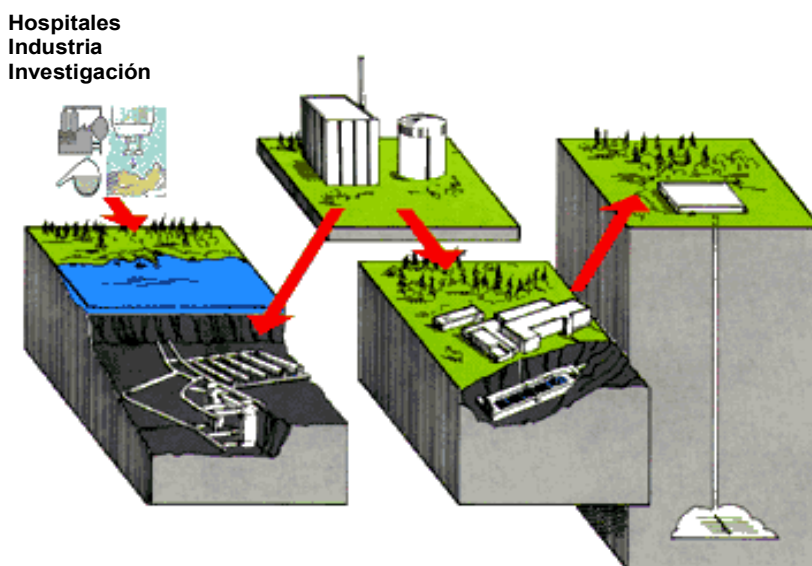
Otro punto por resolver es la calificación de los materiales inmovilizantes de los desechos radiactivos, para esta parte se propone un proyecto de laboratorio que permita calificar estos materiales y los bultos generados de los procesos de tratamiento que se llevan acabo en la PATRADER.

El punto mas álgido por resolver es ubicar y calificar un sitio para la disposición de estos desechos radiactivos en México.

6.3 Disposición final de los desechos radiactivos

Con la finalidad de salvaguardar la seguridad de la población, el ambiente, las generaciones futuras y del personal en una instalación para almacenamiento definitivo de desechos radiactivos que debe existir en México (ver Fig.4), es necesario garantizar el correcto funcionamiento de la misma. Un primer elemento que debe considerarse para conseguir dicho objetivo, es la selección del sitio más idóneo que por sus características brinde las mejores cualidades para evitar o retardar la dispersión del material radiactivo hacia rutas de exposición al hombre, durante el tiempo requerido para que dicho material decaiga a niveles de actividad que no representen un riesgo inaceptable para la población y el ambiente. Los requisitos específicos para la instalación que contenga a estos desechos radiactivos se establecen en la norma oficial mexicana NOM-022-NUCL-1996 "Requerimientos para una instalación para el almacenamiento definitivo de desechos radiactivos de nivel bajo cerca de la superficie". En México el cumplimiento de la normativa garantizará que el sitio, diseño, construcción, operación y clausura, sea apropiado desde el punto de vista de la seguridad y permita la disposición final de los desechos radiactivos en nuestro país.

Fig. 4 Tipos de almacenes en superficie y profundos para desechos radiactivos





REFERENCIAS

- SEMIP CNSNS, Reglamento General de Seguridad Radiológica, DOF, 22 de nov. de 1988.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Reports Series No. 370, IAEA Viena (1994).
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY, Technical Reports Series No. 307, IAEA Viena (1989).
- Norma Oficial Mexicana NOM-004-NUCL-1994. Clasificación de desechos radiactivos, Diario Oficial de la Federación, 4 de marzo de 1996.
- Norma Oficial Mexicana NOM-006-NUCL-1994. Criterios para la aplicación de los límites anuales de incorporación para grupos críticos del público, Diario Oficial de la Federación, 20 de febrero de 1996.
- Norma Oficial Mexicana NOM-008-NUCL-2003. Control de la contaminación radiactiva, Diario Oficial de la Federación, 29 de diciembre de 2003.
- Norma Oficial Mexicana NOM-019-NUCL-1995. Requerimientos para bultos de desechos radiactivos de nivel bajo para su almacenamiento definitivo cerca de la superficie, Diario Oficial de la Federación, 4 de febrero de 1996.
- Norma Oficial Mexicana NOM-020-NUCL-1995. Requerimientos para instalaciones de incineración de desechos radiactivos, Diario Oficial de la Federación, 15 de agosto de 1996.
- Norma Oficial Mexicana NOM-028-NUCL-1996. Manejo de desechos radiactivos en instalaciones radiactivas que utilizan fuentes abiertas, Diario Oficial de la Federación, 22 de diciembre de 1998.
- Norma Oficial Mexicana NOM-035-NUCL-2000. Límites para considerar un residuo sólido como desecho radiactivo, Diario Oficial de la Federación, 14 de abril de 2000.
- OIEA, Reglamento para el transporte seguro de material radiactivo, colección de seguridad No.6, edición 1985(enmendado en 1990). Viena, 1990.
- Norma Oficial Mexicana NOM-CRP-052-ECOL/93. Que establece las características de los residuos peligrosos, el listado de los mismos y los límites que hacen a un residuo peligroso por su toxicidad al ambiente, 5 de octubre de 1993.