

DISPOSICIÓN DE DESECHOS RADIACTIVOS. EVALUACIÓN DE ESCENARIOS DE INTRUSIÓN HUMANA.

Castillo, R.G.¹, Peralta, J.L.¹, Estevez, G.F.¹ y Pujol, A.¹

¹ Centro de Protección e Higiene de las Radiaciones (CPHR).

RESUMEN

Dentro del tema de la evacuación de desechos radiactivos, los escenarios de intrusión humana son de gran importancia debido a las incertidumbres asociadas al estimar su posible impacto en el medio y el hombre. Estos escenarios normalmente se evalúan cuando la instalación de evacuación de desechos ya concluyó el período de control institucional y es limitado el conocimiento público sobre sus características. El trabajo muestra la aplicación de una metodología de evaluación de la seguridad para una instalación de evacuación de desechos radiactivos de baja y media actividad (diseño conceptual) donde se estiman preliminarmente el posible impacto de los escenarios de intrusión humana. Los principales escenarios identificados para el emplazamiento fueron la construcción de asentamientos poblacionales, actividades agrícolas y la perforación de pozos. Los grupos críticos identificados fueron los residentes, agricultores y miembros del equipo de perforación de pozos y las vías de incorporación principales fueron por irradiación directa, inhalación e ingestión. El escenario intrusivo asociado a la construcción de asentamientos poblacionales en el emplazamiento tuvo el mayor impacto estimado. Los resultados mostraron la relevancia del impacto de los escenarios intrusivos en comparación con el escenario base de diseño.

Palabras claves: evacuación de desechos radiactivos, intrusión humana, evaluación de la seguridad

1 INTRODUCCIÓN

Con el objeto de lograr el aislamiento seguro de los desechos radiactivos y reducir los riesgos para el medioambiente y el hombre es práctica común la disposición final de los mismos en instalaciones especiales ubicadas de forma general de forma soterrada [genericos de evacuacion]. Estos repositorios deberán aislar los inventarios de material radiactivo por un período de tiempo suficiente hasta que el riesgo asociado decrezca a niveles aceptables. Uno de los objetivos de seguridad a cumplir es mantener los inventarios de desechos radiactivos evacuados fuera del alcance de cualquier actividad humana.

El desarrollo de casos de seguridad y dentro de estos las evaluaciones de seguridad son herramientas que permiten, dentro de determinados rangos, evaluar el cumplimiento de los criterios de seguridad establecidos para las instalaciones de evacuación de desechos radioactivos a largo plazo [1,2,3]. Entre los posibles escenarios a evaluar en estos análisis debido a sus impactos esperados, son de gran importancia los asociados a la posible intrusión humana no advertida en la instalación de evacuación de los desechos radiactivos.

¹ E-mail del Autor. gesr@cphr.edu.cu

Debido a la imposibilidad de poder predecir con precisión el comportamiento humano en el futuro, el análisis de estos tipos de escenarios toma en cuenta la posibilidad de ocurrencia de diferentes sucesos intrusivos que pudieran ser relevantes para la seguridad.

Internacionalmente el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y otros organismos especializados han recomendado [4,5,6,7,8] han recomendado la incorporación en las evaluaciones de seguridad de un grupo de escenarios intrusivos humanos cuando las posibles consecuencias sean importantes para demostrar la seguridad del sistema de disposición de desechos radiactivos. Además proponen la incorporación, por parte de la instalación, de medidas que permitan reducir la probabilidad de intrusión humana o limitar sus consecuencias.

En Cuba a partir de la década de los 80 [9], se realizan los primeros estudios asociados a la definición de un sistema de evacuación para los desechos radiactivos de baja y media que diera solución a la gestión final segura de estas corrientes generadas en el país. Como resultado de estas investigaciones se seleccionó un emplazamiento favorable para la instalación de evacuación y se definió un diseño para la misma. La instalación propuesta es de tipo cercana a la superficie con túneles y cámaras de evacuación excavadas en un medio geológico estable [10].

Nuestra actual legislación [10,11] no establece una clara definición sobre el manejo a los escenarios de intrusión humanos aunque se define que las instalaciones de disposición final deben garantizar la seguridad y protección radiológica de las personas y el medio ambiente durante todas las fases de vida de la instalación.

La evaluación de seguridad preliminar realizada apoyó la selección del emplazamiento y evaluó la propuesta de diseño, los resultados estimaron el impacto radiológico para los escenarios base de diseño [13,14]. En el presente trabajo se complementan estos análisis al evaluar el cumplimiento de criterios de seguridad por la instalación de evacuación de desechos radiactivos ante la posible ocurrencia de escenarios de intrusión humana en el futuro.

2 MATERIALES Y MÉTODOS

La metodología adoptada para la evaluación de la seguridad, fue validada en el marco de varios estudios [9,13,14] y consta de una serie de etapas lógicas, ver figura 1, que permiten incorporar cada uno de los aspectos relevantes que deben ser tomados en cuenta para estos análisis.

En la etapa inicial del contexto de la evaluación es donde se definen entre otros, los objetivos, criterios adoptados, marco regulatorio. El objetivo de la evaluación de la seguridad fue estimar el impacto radiológico asociado a posibles escenarios de intrusión humana que pudieran afectar a la instalación de evacuación de desechos radiactivos.

El indicador de seguridad definido fue la comparación de los resultados con el límite de dosis efectiva equivalente anual para miembros del público (1 mSv/año) y la restricción de dosis (0.3 mSv/a) establecida en la legislación nacional vigente [11,12]

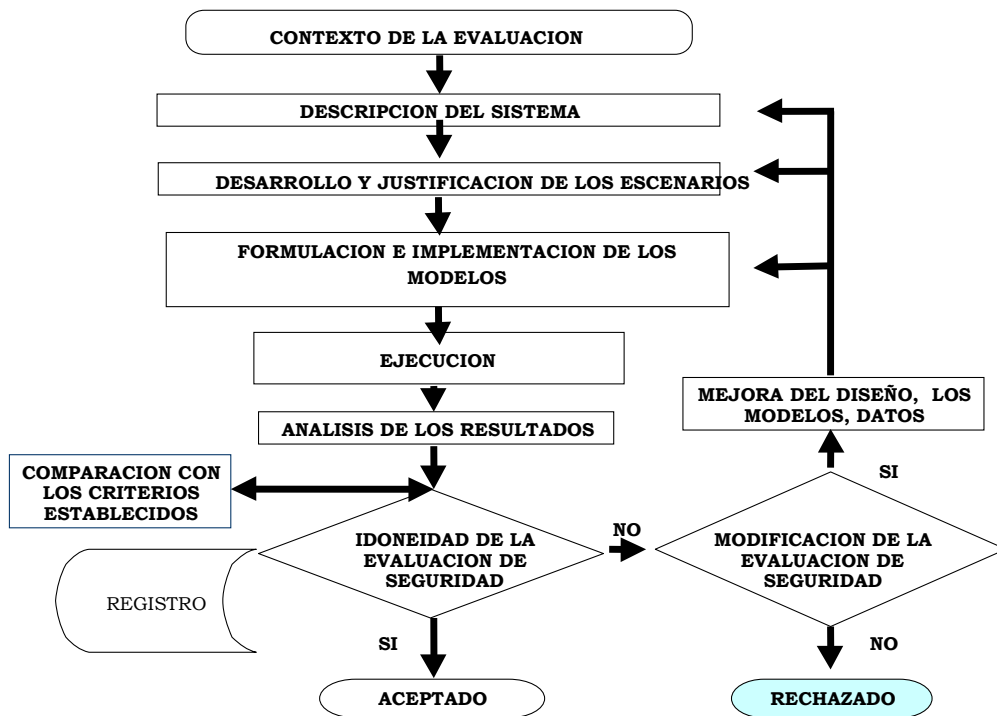


Figura 1. Metodología de evaluación de la seguridad empleada.

Un elemento importante de desechos radiactivos son los inventarios a evaluar, en nuestro país las principales corrientes de desechos se vinculan a los usuarios de las aplicaciones nucleares y provienen de alrededor de 200 instalaciones asociadas a la medicina, la industria y la investigación. Estos clasifican como desechos de baja y media actividad y están conformados fundamentalmente por desechos mixtos y fuentes selladas gastadas. Los principales radionúclidos representados son de vida media corta y larga, algunos de estos son: ^{226}Ra , ^3H , ^{14}C , ^{32}P , ^{60}Co , ^{99}Tc , ^{125}I , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{192}Ir , ^{241}Am , ^{90}Sr . En la tabla 1 se muestran los inventarios de desechos radioactivos que fueron evaluados tomando en cuenta las características de los mismos como actividades presentes y vida media.

Tabla 1. Inventarios de principales radionucleidos presentes en la instalación

Radionúcleidos	Actividad Bq
^{137}Cs	1.37E+07
^{60}Co	7.00E+06
^3H	2.63E+04
^{14}C	2.63E+04
^{241}Am	2.70E+07
^{226}Ra	1.17E+09
^{238}Pu	5.55E+09
^{239}Pu	9.25E+09

La etapa de descripción del sistema, abarca la caracterización detallada del sistema de evacuación de desechos radiactivos e incluye; los parámetros y características de los desechos, emplazamiento, grupo crítico, etc.

Se ha diseñado un sistema de evacuación centralizado para los desechos de baja y media actividad generados en el país, en una variante de evacuación cercana a la superficie dentro de cavidades rocosas en un medio geológico estable.

La instalación de evacuación se ubicará a una profundidad aproximada de 20 m, en un medio geológico estable. La instalación constará de 8 cámaras horizontales conectadas a la superficie por 3 pozos verticales, en las cuales se realizará la evacuación de los desechos radiactivos debidamente embalados manteniendo la suficiente reserva en espacio para eventos no previstos. El área total subterránea del repositorio aproximadamente sería aproximadamente 166 000 m².

El emplazamiento seleccionado se ubica en el centro del país sobre un macizo estable de rocas ígneas (granodioritas) con bajo nivel de agrietamiento [9,13,14]. Debido a su geología, el sitio posee un pobre desarrollo hidrológico e hidrogeológico, estando principalmente asociada a fracturas el agua subterránea presente en el lugar. El área se encuentra alejada de los principales asentamiento poblaciones de la región y se sitúa sobre tierras con limitada presencia de la agricultura y la ganadería como actividades principales.

En la etapa de generación de escenarios se definen los escenarios relevantes a evaluar para la gestión de los desechos peligrosos convencionales. Para la identificación y justificación de los posibles escenarios intrusivos humanos a evaluar se partió de un listado inicial de factores (sucesos o procesos) que pudieran afectar la seguridad de la instalación, los cuales se sometieron a un proceso de tamizado acorde a criterios iniciales establecidos y que después son combinados para generar los escenarios finales de la evaluación de seguridad.

Empleamos como listado inicial, la lista de factores del Programa coordinado del OIEA "ISAM" [15], la cual posee originalmente alrededor de 140 factores y a la que se le incorporaron otros nuevos acorde al contexto del análisis. Esta lista posee un esquema de clasificación de sus elementos, que se muestra en la Figura 2, en la cual se estructuran los factores acorde a los límites espacio/temporales que afecta en el sistema (externos o del sistema, etc). Se definen 4 niveles, los cuales a continuación se detallan:

El primer nivel (Nivel 0), incluye todos los factores que se deben considerar para determinar el contexto de la evaluación de seguridad; como son: requerimientos regulatorios, los indicadores finales de la evaluación, las características del desecho radiactivo, del sistema de evacuación y las escalas temporales del análisis, entre otros.

Los Niveles 1, 2 y 3 se han definido teniendo en cuenta el "Dominio del Sistema de Evacuación". Este dominio incluye los desechos, las barreras naturales y artificiales que deben contenerlos, junto con el medio geológico y superficial; abarca también el comportamiento humano, todo esto vinculado a la estimación del movimiento de radionucleidos y la exposición al hombre, después de la clausura de la instalación. El dominio del sistema está limitado espacial y temporalmente.

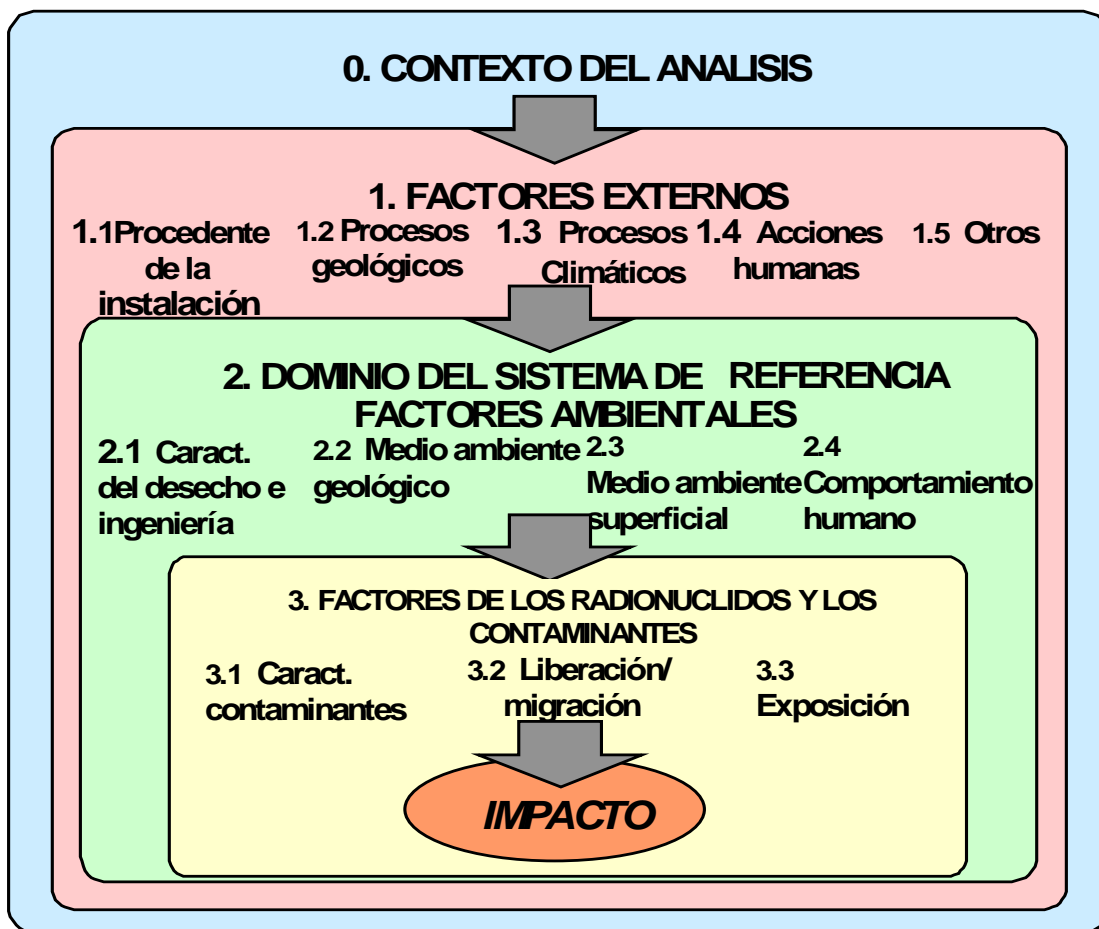


Figura 2. Esquema de clasificación de los factores conformadores de escenarios.

Los factores humanos, relevantes para el proceso de identificación de los escenarios intrusivos se ubican dentro de los Niveles 1 y 2, estos aparecen como acciones humanas futuras y comportamiento humano.

Acciones humanas futuras (1.4)

- 1.4.03 Actividades de perforación
- 1.4.04 Minería y otras actividades subterráneas
- 1.4.05 Un-intrusive site investigation
- 1.4.06 Excavaciones superficiales
- 1.4.08 Construcciones superficiales y desarrollo de sitio
- 1.4.09 Arqueología
- 1.4.10 Recursos hídricos (pozos, presas, reservorios)
- 1.4.11 Evolución social e institucional
- 1.4.12 Nuevos desarrollos tecnológicos
- 1.4.13 Acciones de remediación

Comportamiento humano (2.4)

- 2.4.01 Características humanas (fiología, metabolismo)
- 2.4.02 Variación poblacional (Adultos, niños, infants, etc)
- 2.4.03 Dieta ingestión de fluidos

- 2.4.04 Hábitos (no alimenticios)
- 2.4.05 Características de la comunidad
- 2.4.06 Procesamiento y preparación de alimentos y agua
- 2.4.07 Viviendas
- 2.4.08 Uso del agua y las tierras
- 2.4.09 Uso de las tierras rurales y agrícolas
- 2.4.10 Uso urbano e industrial del agua y la tierra
- 2.4.11 Ocio y otros usos del medioambiente

En el proceso de evaluación de los factores que pudieran conformar los escenarios de intrusión humana se tomaron en cuenta diferentes aspectos entre otros, el contexto del análisis de seguridad, los aspectos regulatorios, las consecuencias esperadas, las posibilidades de ocurrencia, las características del emplazamiento y el diseño de la instalación.

Con la lista de factores y los criterios de cribado se realizó por un grupo de expertos, la evaluación de los mismos para identificar los que pudieran ser importantes y así ser empleados posteriormente en la construcción de los escenarios. Este proceso se realizó varias veces de forma independiente por los expertos y permitió reducir considerablemente el listado final de factores para el análisis de la instalación, obteniéndose al final un listado de factores relevantes.

Se tuvo en cuenta que el emplazamiento fue seleccionado acorde a un grupo de criterios (ausencia de recursos naturales, pobre hidrogeología, etc) que reducen la posibilidad de ocurrencia de varios grupos de factores.

Se adoptó como criterio general el de tomar principalmente a los factores relevantes externos, como los conformadores de escenarios, aunque se evaluaron todos los demás factores del sistema de aislamiento. Los restantes factores fueron incluidos dentro de cada escenario como elementos o procesos que condicionan las formas de liberación, transporte y acceso final de los desechos radiactivos.

Adicionalmente como bases iniciales para definir la posible ocurrencia de estos escenarios de intrusión humana se estableció lo siguiente.

- Estos eventos ocurren posterior al período de cierre de la instalación y finalización del control institucional (250 años)
- Hay desconocimiento (pérdida de información) sobre las características de la instalación existente de evacuación de desechos radiactivos.

Esto permite asumir como posible la ocurrencia de escenarios de intrusión humana no advertida. Siguiendo esta metodología se identificaron 3 escenarios de intrusión humana sobre los cuales se realizó la valuación de seguridad.

Escenario de actividades agrícolas. Se realizan en la zona del emplazamiento actividades agrícolas diversas que afectan la integridad de las barreras ingenieras de la instalación de evacuación de desechos radiactivos. Se evalúa el impacto en los campesinos como grupo crítico. Las vías principales de incorporación de los contaminantes radiactivos son; irradiación directa, inhalación e ingestión a través de la cadena alimenticia.

Escenario de asentamientos poblacionales. Después de concluido el período de control institucional en el área de emplazamiento de la instalación de evacuación de desechos radiactivos se inician nuevas construcciones. Estas actividades traen aparejado un importante

movimiento de tierras que afectan las barreras presentes en la instalación y a los desechos radiactivos. Se evalúa el impacto en los residentes como grupo crítico, tanto dentro de la vivienda como externamente. Las vías principales de incorporación de los contaminantes radiactivos son; irradiación directa, inhalación e ingestión a través de la cadena alimenticia.

Escenario de perforación de pozo. Se realizan estudios en el área del emplazamiento incluyendo la perforación de un pozo que afecta a la instalación de evacuación, una muestra de roca (contaminada con material radiactivo) es extraída para ser evaluada. Se evalúa el impacto al personal vinculado a la perforación como grupo crítico. Las vías principales de incorporación de los contaminantes radiactivos son; irradiación directa e inhalación.

En la etapa de **modelaje** acorde a los escenarios identificados, se definieron los modelos y parámetros a utilizar. Empleamos para evaluar los escenarios de intrusión humana, acorde al contexto de la evaluación de la seguridad y los escenarios identificados el programa RESRAD versión 6.3 [16] que permite simular los procesos y las principales vías de accesos de los radionúclidos al grupo crítico.

Para los escenarios de intrusión humana los modelos seleccionados incorporaron las siguientes características.

- Vías de incorporación: irradiación directa, inhalación, ingestión, transporte de agua, descarga, etc.
- Principales vías de transporte e incorporación de los radionucleidos: agua, aire, suelo, consumo de agua y alimentos.
- Grupos críticos: Campesinos, población residente, personal del equipo de perforación.
- Principales parámetros: Niveles ocupacionales, factores de transferencia en animales y plantas, tasas de incorporación, parámetros específicos del emplazamiento (geológicos, hidrogeológicos, climáticos, etc). Los parámetros empleados se tomaron de los resultados de estudios anteriores del sitio de emplazamiento [9, 10,13,14] y de las características de la instalación y los desechos radiactivos. Ante la ausencia de parámetros específicos para el modelaje, se tomaron previo análisis de la literatura especializada [17,18,19,20]. Ante la presencia de incertidumbres en la evaluación, se adoptaron criterios conservativos al momento de definir los rangos de comportamiento de las variables.

Se realizaron las corridas acorde al contexto de la evaluación de seguridad para un intervalo de tiempo que va desde que concluye el control institucional (año 250) hasta 500 años después (año 750). Los resultados obtenidos se compararon con los indicadores de seguridad predefinidos; límites establecidos para los miembros del público (1 mSv/a) y de restricción de dosis (0.3 mSv/a).

3 RESULTADOS

A los 3 escenarios de intrusión humana identificados se les evaluó entre otros aspectos, su impacto radiológico en el tiempo, el papel jugado por los diferentes radionucleidos presentes.

Escenario de actividades agrícolas. Para este escenario se evaluó después del cese del control institucional de la instalación (año 250) el comportamiento de la dosis efectiva en el tiempo. Los resultados muestran un elevado impacto inicial que sólo queda por debajo del límite de dosis establecido para los miembros del público en el año 269 y para la restricción de dosis a partir del año 296, o sea este último 46 años después de concluido el control sobre la instalación, ver figura 3.

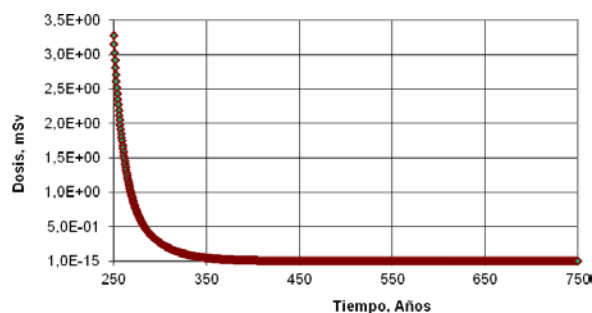


Figura 3. Distribución de la dosis esperada en el tiempo para el escenario agrícola

Aunque es una evaluación preliminar inicial que incluye criterios conservativos que incrementan el impacto, este resultado muestra la importancia de establecer medidas adecuadas que permitan evitar la ocurrencia de este tipo de evento en el período posterior a la conclusión del control institucional sobre la instalación y el emplazamiento.

Como es de esperar para los tiempos evaluados sólo los radionúclidos de vida media y larga contribuyen de forma relevante en las dosis finales al grupo crítico. El de mayor dosis asociada es el ^{226}Ra seguido por el ^{239}Pu ambos asociados a las fuentes gastadas en desuso, ver figura 4. Para esta corriente de desechos se hace necesario aumentar los niveles de seguridad mediante barreras que permitan reducir su impacto final.

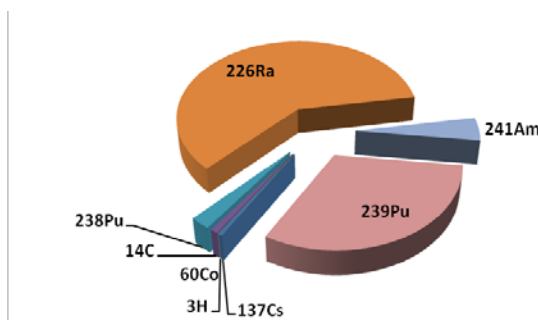


Figura 4. Contribución de los radionúclidos al impacto final en el escenario agrícola

Al evaluar las principales vías de acceso de los contaminantes radiactivos en este escenario, tomando en cuenta las que más aportan a las dosis finales los resultados muestran que son el consumo de agua y vegetales contaminados, ver figura 5. Este impacto puede ser mucho menor si acorde a las características hidrogeológicas del emplazamiento esperamos que las principales fuentes de agua sean externas.

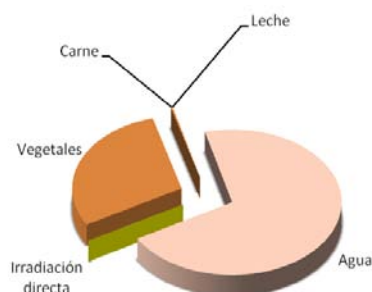


Figura 5. Vías principales de irradiación en el escenario de asentamiento de agricultura.

Escenario de asentamiento poblacional. El comportamiento de la dosis efectiva en el tiempo es similar al anterior escenario evaluado, aunque como es de esperar las dosis son superiores. Los resultados muestran un elevado impacto inicial que sólo queda por debajo de los límites establecidos del límite de dosis establecido para los miembros del público en el año 465 y para la restricción de dosis a partir de a partir del año 520, o sea cientos de años después de concluido el control sobre la instalación, ver figura 6.

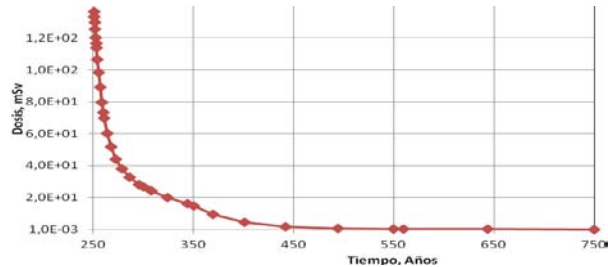


Figura 6. Distribución de la dosis esperada en el tiempo para el escenario de asentamiento poblacional

Las dosis esperadas para este escenario son muy superiores al anterior, esto se asocia fundamentalmente a lo invasivo del escenario donde el movimiento de tierra y la construcción de los cimientos de los asentamientos pueden remover un volumen mucho mayor de material contaminado de la instalación de evacuación de desechos radiactivos.

Para este escenario los radionúclidos que principalmente contribuyen al impacto final son los provenientes de las fuentes gastadas en desuso; el ^{226}Ra y el ^{239}Pu , ver figura 7. El resto del inventario tiene una limitada influencia en las dosis finales. Este comportamiento es similar al escenario anterior y muestra la relevancia del control adecuado de las fuentes que representan el problema mayor para estas instalaciones.

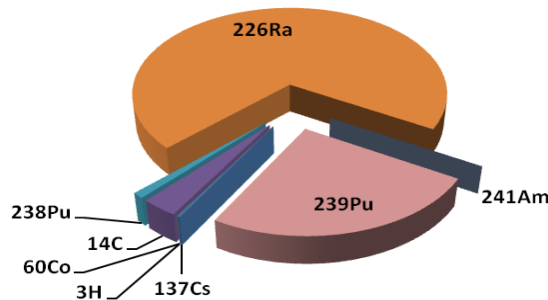


Figura 7. Contribución de los radionúclidos al impacto final en el escenario de asentamiento poblacional

Al analizar las principales vías de acceso de los contaminantes radiactivos en este escenario, tomando en cuenta las que más aportan a las dosis finales los resultados muestran que son la irradiación externa y el consumo de alimentos contaminados, como se muestra en la figura 8.

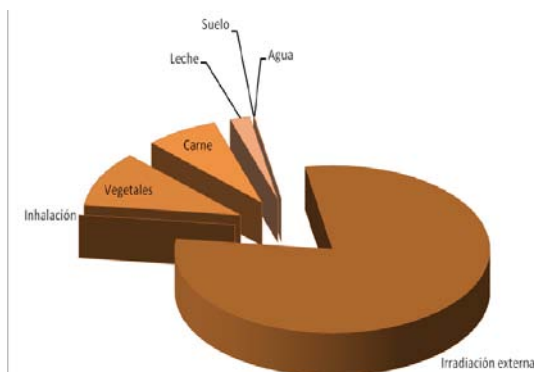


Figura 8. Vías principales de irradiación en el escenario de asentamiento poblacional.

Este comportamiento es característico para este escenario donde la posible remoción inadvertida de suelo y material proveniente de la destrucción de la instalación de evacuación de desechos radiactivos debe potenciar la irradiación directa del grupo crítico asociado.

Escenario de perforación de pozo. A diferencia de los escenarios anteriores, el cálculo de las dosis equivalentes para el grupo crítico se realizó en 3 diferentes períodos de tiempo, en el año 250 (recién liberado el sitio), en el año 500 y 1000, ver figura 9. La dosis total siempre esta por debajo del límite de dosis para los miembros del público, no así para la restricción de dosis.

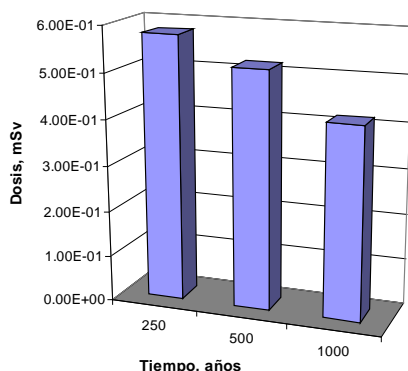


Figura 9. Comportamiento de las dosis en diferentes tiempos para el escenario de perforación de pozos.

El impacto de este escenario es muy localizado pues afecta a un limitado grupo crítico representado por el personal de perforación y estos quedan expuestos a limitados volúmenes de material contaminado, muy diferente a los escenarios anteriores mucho más extensivos.

Similar a los escenarios anteriores evaluados, los radionúclidos de vida media y larga (^{226}Ra , ^{238}Pu , ^{137}Cs) tienen un impacto relevante en las dosis finales al grupo crítico, ver figura 10.

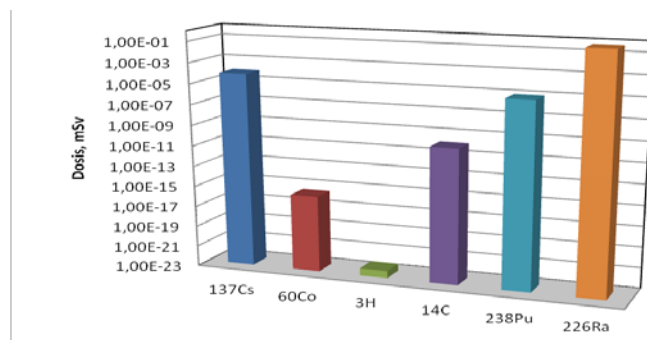


Figura 10. Contribución de los radionúclidos al impacto final en el escenario de perforación de pozos.

Al comparar los resultados de los 3 escenarios de intrusión humana evaluados anteriormente con el escenario base de diseño [], como se muestra en la figura 11, se puede observar la importancia del posible impacto radiológico (dosis total) de estos escenarios. Los mismos superan varias veces mayor que la dosis obtenida para el escenario base de diseño definido para la instalación de evacuación de desechos radiactivos.

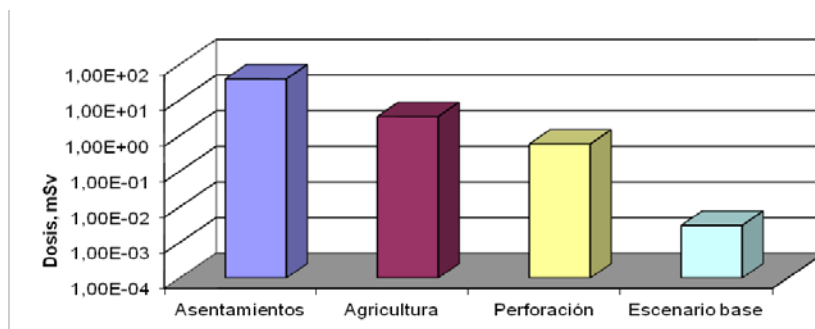


Figura 11. Relevancia relativa de los escenarios intrusivos

A pesar de las incertidumbres presentes al momento de definir los posibles escenarios o al estimar la posibilidad de ocurrencia para eventos humanos de este tipo, la importancia de los posibles impactos radiológicos hace necesario su incorporación dentro de las evaluaciones de seguridad para los sistemas de evacuación de desechos radiactivos.

Con el objetivo de cumplir los objetivos de protección del medioambiente y el hombre los sistemas de evacuación de desechos radiactivos deben incorporar las medidas necesarias para evitar o reducir al mínimo el impacto de estos escenarios de intrusión humana. El establecimiento de barreras de seguridad pasivas y el mantenimiento en el tiempo de registros con información sobre la instalación de evacuación de desechos radiactivos entre otras, son algunas de las posibles vías para reducir su posible impacto.

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La metodología empleada para la generación y justificación de escenarios permitió identificar un grupo de posibles escenarios de intrusión humana.
- El escenario intrusivo asociado a la presencia de asentamientos poblacionales en el emplazamiento fue el que presentó los mayores impactos esperados.
- Los radionúclidos de vida media a larga son dentro de los inventarios de desechos radioactivos, los que más contribuyen al impacto final de los escenarios de intrusión humana.

- Los escenarios de intrusión humanos para la etapa posterior al cierre de la instalación de evacuación de desechos radiactivos, poseen un impacto relevante en comparación con los restantes definidos para el sistema de evacuación de desechos radiactivos. Se deben adoptar medidas que permitan prevenirlos o reducir su posible impacto.
- Debido a su importancia se hace necesario incorporar metodologías y herramientas que permitan establecer una base común para la definición y tratamiento de los escenarios de intrusión humanas dentro de las evaluaciones de seguridad de los sistemas de evacuación de desechos radiactivos.

5 REFERENCIAS

1. International Atomic Energy Agency. Practical Illustration and Use of the Safety Case Concept in the Management of Near-Surface Disposal. PRISM PROJECT. (2009-2013).
2. European Commission. Performance Assessment Methodologies in Application to Guide the Development of the Safety Case. PAMINA PROJECT (2006-2009).
3. International Atomic Energy Agency. Geological Disposal Facilities for Radioactive Waste, Specific Safety Guide No. SSG-14. Vienna (2011).
4. IAEA. Human intrusion scenarios in the context of disposal of radioactive wastes. HIDRA Project 2012-2015
5. ICRP, 2013. Radiological protection in geological disposal of long-lived radioactive waste. ICRP Publication 122. Ann. ICRP 42(3).
6. U.S. EPA. Guidelines for Exposure Assessment. U.S. Environmental Protection Agency, Risk Assessment Forum, Washington, DC, EPA/600/Z-92/001, 1992.
7. BIOPROTA. Human Intruder Dose Assessment for Deep Geological Disposal. 2012 Report. In green text.
8. WASSC. The use of human intrusion scenarios in safety assessment of radioactive waste disposal. 2001 Report.
9. Peralta Vital J. L. y Gil Castillo R. Proceso de selección de emplazamiento como criterio fundamental de seguridad para emplazar el Repositorio de desechos radiactivos en Cuba. (CD-CGEN 0011098). CGEN VII Congreso general energía Nuclear. Asociación Brasileña de energía nuclear. Belo Horizonte-Minas Gerais-Brasil. (1999).
10. Peralta Vital J. L. y Gil Castillo R. et al. Diseño conceptual del Repositorio de desechos de baja y media actividad en la República de Cuba. Symposium on Nuclear radiation for the development of Latin America LAs- ANS. June 2-6 Veracruz México 1996.
11. Ley Nuclear 207/2000 (Uso pacífico de la energía nuclear). 2000
12. Resolución 35/03. Reglamento para la seguridad de a gestión de los desechos radiactivos. 2003
13. Gil Castillo. R, et al. Evaluación preliminar del comportamiento y la seguridad del Sistema de Evacuación de baja y media actividad definidas. II Taller de Seguridad Nuclear y Radiológica. La Habana.Cuba.1996.
14. Reinaldo Gil Castillo, José Luis Peralta Vital, Grisell Barranco. “Evaluación del posible impacto radiológico en el hombre ocasionado por el Sistema de evacuación de desechos radiactivos definido en Cuba”. Symposium on Globalization of Nuclear activities. SGNA-014.LAS-NAS. Brasil. 1997.
15. International Atomic Energy Agency. CRP Improvement Safety Assessment Methodology. ISAM Vol I. 2001
16. RESRAD versión 6.3 User Manual

17. Nuclear Regulatory Commission (NRC). 1977. Calculation of Annual Doses to Man from Routine Releases of Reactor Effluents for the Purpose of Evaluating Compliance with 10 CFR 50, Appendix I . Regulatory Guide 1.109.
18. Till, J.E. and Meyer, H.R. 1983. Radiological Assessment: A Textbook on Environmental Dose Analysis. Prepared for Office of Nuclear Reactor Regulation. U.S. Nuclear Regulatory Commission. Washington, DC. NUREG/CR-3332.
19. Miller. 1984. Models and Parameters for Environmental Radiological Assessments. DOE/TIC-11468.
20. IAEA. The Safety Case and Safety Assessment for the Disposal of Radioactive Waste. Specify Safety Guide SSG-23. 2012