

## **Proyección al 2035 de los Desechos Radiactivos de Nivel Bajo e Intermedio en México**

***Lydia C. Paredes G.***

*Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares*

*Km. 36.5 Carretera México-Toluca, 52045 Salaza, Méx., México*

[\*lpg@nuclear.inin.mx\*](mailto:lpg@nuclear.inin.mx)

***Severiano Sánchez U.***

*Comisión Federal de Electricidad*

*Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, Ver., México*

[\*ssanchezu@cfe.gob.mx\*](mailto:ssanchezu@cfe.gob.mx)

### ***Resumen***

Es necesario establecer en pocos años un almacén definitivo para los desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio, generados en el país y satisfacer las necesidades de su confinamiento en los próximos 50 a 80 años. Por lo tanto, se requiere estimar los volúmenes producidos anualmente, los almacenados hasta la fecha y los estimados a mediano y largo plazo. Se presentan los resultados de la simulación de 4 casos, considerando la operación de los 2 reactores nucleares de potencia a 40 y 60 años, el empleo de la tecnología de tratamiento actual y el uso de súper compactación de sólidos, así como la importancia en la toma de decisión de la metodología para el desmantelamiento de cada reactor al término de su vida útil. Actualmente la Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde, produce un promedio de 250 m<sup>3</sup>/a de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio, constituidos por desechos sólidos secos, sólidos húmedos y líquidos. En los últimos 3 años, la Central ha alcanzado una eficacia de reutilización de efluentes del 95%. Por otra parte, en México las aplicaciones no energéticas de los radisótopos, producen anualmente del orden de 20 m<sup>3</sup>/a de desechos sólidos, 280 m<sup>3</sup>/a de desechos líquidos y 300 fuentes radiactivas gastadas.

### **1. INTRODUCCIÓN**

Durante los últimos años el tema de los desechos radiactivos ha tenido gran interés, debido a la creciente sensibilización y concientización en materia de protección y recuperación del ambiente, así como a la necesidad de contar en México, en pocos años, de un almacén definitivo con capacidad suficiente para recibir los desechos radiactivos producidos en la medicina, industria, investigación, y de la generación de energía eléctrica por medios nucleares en los próximos 50 a 80 años.

En este trabajo se presentan los resultados del programa Radioactive Waste, sobre la estimación de volúmenes de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio, acumulados hasta el año 2003 y

su proyección a mediano y largo plazo, los cuales fueron generados por aplicaciones energéticas y no-energéticas. Se analizaron 4 casos y como variables se tiene; a) la vida útil del reactor de 40 años, o bien de 60 años, si se considera la extensión de la licencia de operación del reactor por 20 años más, situación que actualmente ya está ocurriendo en reactores similares en los Estados Unidos de América, b) el promedio de generación anual de desechos radiactivos sólidos, húmedo y líquidos, c) la tecnología de tratamiento utilizada, d) la optimización de procesos y prácticas durante las actividades de recarga para la reducción del volumen de desechos generados, e) la metodología seleccionada para el desmantelamiento del reactor al término de la vida útil, y f) la tendencia en la generación a mediano y largo plazo de los desechos radiactivos en las aplicaciones médicas, industriales y de investigación. El conocimiento de esta información, es uno de los puntos de partida para realizar el diseño de un almacén definitivo en México.

## 2. GENERADORES DE DESECHOS RADIATIVOS

### 2.1. Aplicaciones Energéticas

La Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde (CLV) consta de dos unidades de 654 MWe cada una, las cuales están en operación comercial desde Julio de 1990 la Unidad 1 y desde Abril de 1995 la Unidad 2, las cuales generan el 5.3% de la energía eléctrica que se consume en el país [1]. La central en su operación, produce desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio, así como combustible gastado, el cual se considerará como desecho radiactivo de nivel alto cuando se declare como tal [2].

Los desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio en la CLV, se dividen en dos grandes grupos: los desechos sólidos húmedos que se generan durante el tratamiento de los desechos radiactivos líquidos, y los desechos sólidos secos que son básicamente el resultado de operaciones de mantenimiento.

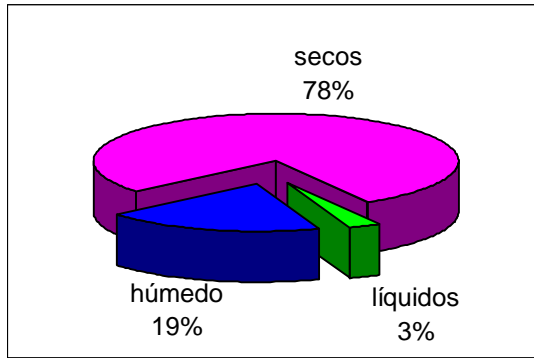
Actualmente, la producción promedio anual de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio de las 2 unidades es de 250 m<sup>3</sup>/a. El volumen acumulado por las 2 unidades hasta diciembre del 2003 es de 2,893 m<sup>3</sup>, los cuales son colectados, procesados, acondicionados en contenedores y almacenados temporalmente en la misma central; encontrándose que del total, el 51.46% son desechos sólidos secos, el 12.71% de desechos sólidos húmedos y el 35.83% de desechos líquidos.

Para su almacenamiento se emplean bidones de 200 L (capacidad 0.2 m<sup>3</sup>) para los sólidos secos y húmedos, y contenedores de alta integridad (HIC) (capacidad 4 m<sup>3</sup>) para los líquidos. En la Figura 1 se presenta el número de contenedores por tipo de desecho radiactivo y en la Figura 2 se ilustra que los bidones representan el 97% del total de recipientes almacenados [1,3,4].

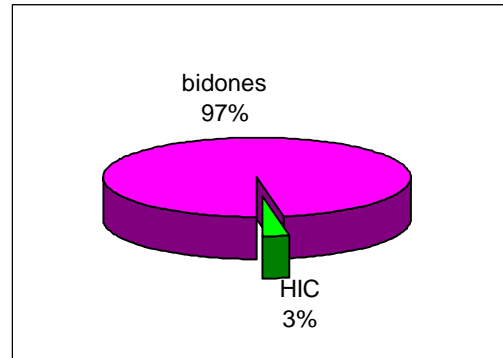
Analizando la producción anual de desechos radiactivos sólidos por unidad, se observa que se cumplió la meta programada por la CLV para 2003 con 125 m<sup>3</sup>/a-unidad. En el caso de reúso de los efluentes, para este año se logró un 94.7% de un 85% programado [1,3,4].

A partir del 2001, las autoridades de la CLV iniciaron un programa permanente de concientización del personal para la reducción de desechos radiactivos desde su origen, así como

un programa de mejora continua de los procesos de tratamiento para aumentar el porcentaje de reúso de efluentes. Actualmente, se analiza el posible empleo de tecnologías nuevas para la reducción del inventario de desechos radiactivos, considerando metodologías que sean aceptables técnicamente y probadas a nivel mundial, como el secado y la supercompactación, con el propósito de alcanzar en el futuro una meta de producción de desechos sólidos inferior a 74 m<sup>3</sup>/año-reactor, que corresponde a la media de la World Association of Nuclear Operators (WANO) [3].



**Figura 1. Porcentaje de contenedores empleados por tipo de desecho radiactivo**



**Figura 2. Porcentaje por tipo de contenedor**

## 2.2. Aplicaciones No-energéticas

En México, la demanda de radisótopos se distribuye de la siguiente forma: el sector salud es el principal consumidor con el 89%, seguido de la industria con el 9% y el 2% restante se utiliza en investigación [5].

En el consumo comercial regular de radisótopos, como fuentes abiertas en México, para diagnóstico se tienen al <sup>99m</sup>Tc, <sup>131</sup>I, <sup>67</sup>Ga, <sup>201</sup>Tl y <sup>133</sup>Xe. En terapia se tienen <sup>125</sup>I, <sup>131</sup>I, <sup>32</sup>P, <sup>90</sup>Y, <sup>153</sup>Sm y <sup>186</sup>Re. En la industria se tienen: <sup>131</sup>I, <sup>82</sup>Br, <sup>22</sup>Na y <sup>3</sup>H. En investigación: <sup>14</sup>C, <sup>3</sup>H, <sup>125</sup>I y en menor porcentaje una gran variedad de radisótopos de vida media corta y algunos producidos en el reactor de investigación TRIGA Mark III del ININ. Se ha observado un incremento del 23% en la demanda de radisótopos y el 20 % en los estudios realizados en las áreas de medicina nuclear en el período 1998-2003. De los radisótopos utilizados para radiofármacos se tienen el <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc, <sup>131</sup>I, <sup>125</sup>I, <sup>67</sup>Ga, <sup>201</sup>Tl, <sup>153</sup>Sm, <sup>90</sup>Sr y <sup>188</sup>W/<sup>188</sup>Re, de los cuales en el año 2003 el <sup>99</sup>Mo/<sup>99m</sup>Tc y <sup>131</sup>I representaron el 72.9% y el 15.9% de la demanda anual nacional en medicina nuclear. Los desechos generados son enviados al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ) para su decaimiento, acondicionamiento y almacenamiento temporal en el Centro de Almacenamiento de Desechos Radiactivos (CADER) [5].

Existen alrededor de 1,300 licencias otorgadas por la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (CNSNS) para adquisición, uso y transporte de material radiactivo en el país; presentando en los últimos años, un incremento anual del 5%. Del orden de 120 instalaciones corresponden a radioterapia, 210 a medicina nuclear, 250 a plantas industriales, 400 de

laboratorios de radioinmunoanálisis y el resto a instituciones de educación superior e investigación [6].

El ININ cuenta con una planta de tratamiento de desechos radiactivos, donde se realizan las actividades de recepción, recolección, transporte, acondicionamiento, tratamiento e inmovilización de los desechos radiactivos generados en las aplicaciones en medicina, industria e investigación en todo el país. Anualmente se producen 20 m<sup>3</sup> de desechos radiactivos sólidos, 280 m<sup>3</sup> de desechos radiactivos líquidos de nivel bajo e intermedio, de los cuales 5 m<sup>3</sup> son de desechos mixtos orgánicos y aproximadamente 300 fuentes selladas agotadas (10 m<sup>3</sup>). Estos desechos son acondicionados en esta planta y enviados al CADER para su almacenamiento temporal [5,7,8].

### 3. VOLUMEN DE DESECHOS RADIATIVOS

Se utilizó el modelo de simulación del programa Radioactive Waste, para estimar los volúmenes de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio a mediano y largo plazo, que se generarán en México como resultado de las aplicaciones energéticas y no-energéticas.

El programa solicita diferentes datos de entrada, o bien seleccionar algunas opciones de cálculo determinadas previamente para la sección energética; el número y tipo de reactor nuclear de potencia, la vida útil de cada reactor, la metodología de tratamiento de los desechos radiactivos utilizada, el tipo de contenedores para almacenamiento utilizados, la metodología seleccionada para el desmantelamiento del reactor al término de su vida útil, y para el caso de reactores ya en operación, solicita el volumen acumulado de los desechos hasta el momento del cálculo, el porcentaje de cada tipo de desechos radiactivo, la fecha y el tipo de optimización de procesos implementados o por implementar, y el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos bajo condiciones normales de operación de la central. Para la sección no-energética, el programa requiere como datos de entrada los volúmenes de desechos acumulados a la fecha y el promedio anual generado por aplicaciones en medicina, industria e investigación, el tipo de radisótopo, el tipo de fuente (abierta o cerrada), la estimación en la demanda de cada sector a mediano y largo plazo y el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos.

En base a la información de WANO sobre las experiencias en otras centrales nucleares en el mundo, para la variable del desmantelamiento de las unidades de la CLV se seleccionó la técnica "Safe Store", que considera que al término de la vida útil del reactor, se retira el combustible gastado, se descontaminan las áreas convencionales y se recoge todo para guardarse en el edificio del reactor. Este edificio se sella y se establece un programa de vigilancia radiológica entre 15 y 30 años y al término se abre y se enviarán al almacén definitivo sólo aquellos desechos contaminados con radionúclidos como el Cs-137 o vidas medias mayores, o bien en función de su radiotoxicidad. Con esta metodología, el costo y la cantidad de DR disminuye en forma relevante.

Se analizaron 4 casos con las consideraciones siguientes:

- *Caso 1.* Proyección del volumen de desechos radiactivos al 2035, utilizando la tecnología y eficiencia actual para el tratamiento de desechos radiactivos sólidos y líquidos en la CLV y

el CADER. En la sección energética se consideró; la operación de los 2 unidades de la CLV por 40 años, la Unidad 1 (Jul/1990-Jul/2030) y la Unidad 2 (Abr/1995-Abr/2035), el inventario y el porcentaje de cada tipo de desechos radiactivos acumulados para las 2 unidades hasta el 31/Dic/2003, la optimización de procesos de tratamiento de desechos a partir del 2001, el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes del 10%, y un tiempo de espera de 15 años después del cierre de la unidad para el desmantelamiento del reactor. En la sección no-energética se consideró; el inventario de desechos radiactivos acumulado en el CADER y la planta de tratamiento de desechos radiactivos en el ININ hasta el 31/Dic/2003; la demanda nacional de radisótopos actual por tipo de aplicación; para el período 2004-2035 se consideró un incremento del 10% en los desechos radiactivos, ya que el incremento del 40% en la demanda de radisótopos de vida media corta para aplicaciones médicas y el 10% en aplicaciones industriales y 2% en investigación, no repercutirán en un incremento importante en los desechos nivel bajo e intermedio; el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos en instalaciones radiactivas del 10%. Este caso corresponde a estrategias de optimización de procesos y no inversión en nuevas tecnologías de procesamiento de desechos.

- *Caso 2.* Proyección del volumen de desechos radiactivos al 2055, utilizando la tecnología actual para el tratamiento de desechos radiactivos sólidos y líquidos en la CLV y el CADER. En la sección energética se consideró; la operación de los 2 unidades de la CLV por 60 años(extensión de la licencia de operación por 20 años), la Unidad 1 (Jul/1990-Jul/2050) y la Unidad 2 (Abr/1995-Abr/2055), el inventario y el porcentaje de cada tipo de desechos radiactivos acumulados para las 2 unidades hasta el 31/Dic/2003, la optimización de procesos de tratamiento de desechos a partir del 2001, el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes del 10%, y un tiempo de espera de 15 años después del cierre de la unidad para el desmantelamiento del reactor. En la sección no-energética se consideró; el inventario de desechos radiactivos acumulado en el CADER y la planta de tratamiento de desechos radiactivos en el ININ hasta el 31/Dic/2003; la demanda nacional de radisótopos actual por tipo de aplicación; para el período 2004-2035 se consideró un incremento del 10% en los desechos radiactivos y para el período 2036-2055 un incremento del 15%, ya que el incremento del 40% en la demanda de radisótopos de vida media corta para aplicaciones médicas y el 10% en aplicaciones industriales y 2% en investigación, no repercutirán en un incremento importante en los desechos nivel bajo e intermedio; el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos en instalaciones radiactivas del 10%. Este caso corresponde a estrategias de optimización de procesos y no inversión en nuevas tecnologías de procesamiento de desechos y extensión de la vida útil de las 2 unidades de la CLV hasta 60 años.
- *Caso 3.* Proyección del volumen de desechos radiactivos al 2035, utilizando tecnología mejorada para el tratamiento de desechos radiactivos sólidos y líquidos en la CLV y la tecnología actual en el CADER. En la sección energética se consideró; la operación de los 2 unidades de la CLV por 40 años, la Unidad 1 (Jul/1990-Jul/2030) y la Unidad 2 (Abr/1995-Abr/2035), el inventario y el porcentaje de cada tipo de desechos radiactivos acumulados para las 2 unidades hasta el 31/Dic/2003, la optimización de procesos de tratamiento de desechos a partir del 2001, a partir del 2006 el empleo de la técnica de súper compactación para reducir el volumen de los desechos sólidos secos entre un 70-75%, en el año 2010 mejora de los procesos de tratamiento de los desechos radiactivos líquidos

(resinas y lodos) para reducción de volumen, el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes del 10%, y un tiempo de espera de 30 años después del cierre de la unidad para el desmantelamiento del reactor. En la sección no-energética se consideró; el inventario de desechos radiactivos acumulado en el CADER y la planta de tratamiento de desechos radiactivos en el ININ hasta el 31/Dic/2003; la demanda nacional de radisótopos actual por tipo de aplicación; para el período 2004-2035 se consideró un incremento del 10% en los desechos radiactivos, ya que el incremento del 40% en la demanda de radisótopos de vida media corta para aplicaciones médicas y el 10% en aplicaciones industriales y 2% en investigación, no repercutirán en un incremento importante en los desechos nivel bajo e intermedio; el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos en instalaciones radiactivas del 10%. Este caso corresponde a estrategias de optimización de procesos y requiere inversión en nuevas tecnologías de procesamiento de desechos.

- *Caso 4.* Proyección del volumen de desechos radiactivos al 2055, utilizando tecnología mejorada para el tratamiento de desechos radiactivos sólidos y líquidos en la CLV y la tecnología actual en el CADER. En la sección energética se consideró; la operación de los 2 unidades de la CLV por 60 años (extensión de la licencia de operación por 20 años), la Unidad 1 (Jul/1990-Jul/2050) y la Unidad 2 (Abr/1995-Abr/2055), el inventario y el porcentaje de cada tipo de desechos radiactivos acumulados para las 2 unidades hasta el 31/Dic/2003, la optimización de procesos de tratamiento de desechos a partir del 2001, a partir del 2006 el empleo de la técnica de súper compactación para reducir el volumen de los desechos sólidos secos entre un 70-75%, en el año 2010 mejora de los procesos de tratamiento de los desechos radiactivos líquidos (resinas y lodos) para reducción de volumen, el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes del 10%, y un tiempo de espera de 30 años después del cierre de la unidad para el desmantelamiento del reactor. En la sección no-energética se consideró; el inventario de desechos radiactivos acumulado en el CADER y la planta de tratamiento de desechos radiactivos en el ININ hasta el 31/Dic/2003; la demanda nacional de radisótopos actual por tipo de aplicación; para el período 2004-2035 se consideró un incremento del 10% en los desechos radiactivos y para el período 2036-2055 un incremento del 15%, ya que el incremento del 40% en la demanda de radisótopos de vida media corta para aplicaciones médicas y el 10% en aplicaciones industriales y 2% en investigación, no repercutirán en un incremento importante en los desechos nivel bajo e intermedio; el porcentaje de seguridad para casos de incidentes o accidentes radiológicos en instalaciones radiactivas del 10%. Este caso corresponde a estrategias de optimización de procesos e inversión importante en la adquisición de sistemas con nuevas tecnologías de procesamiento de desechos y extensión de la vida útil de las 2 unidades de la CLV hasta 60 años.

Los resultados para estos 4 casos se presenta en la Figura 3, donde se observa como varia la proyección del volumen total de desechos radiactivos generados a mediano y largo plazo para cada caso, y la importancia en la reducción del volumen cuando se invierte en la compra de sistemas con tecnologías modernas para el tratamiento de desechos radiactivos, como la súper compactación y el tratamiento e inmovilización de las resinas y los lodos radiactivos, para la reducción de los volúmenes. En forma sobresaliente, resalta la toma de decisión para realizar el desmantelamiento después de 30 años del cierre de cada unidad, lo cual repercute en una disminución del orden del 50% del volumen final de los desechos radiactivos, como lo demuestra

la relación de volúmenes totales; caso3/caso1= 52.39% y el caso4/caso2= 55.92%. Ahora bien, la repercusión en volumen de operar 40 o 60 años un reactor solo incrementa del orden del 20%, como lo demuestra la relación de volúmenes; caso1/caso2= 83.41%, el caso3/caso4= 78.15%. En las Figuras 4 a 7 se muestra el porcentaje que representa la aportación de las fuentes energéticas y las no energéticas por caso.

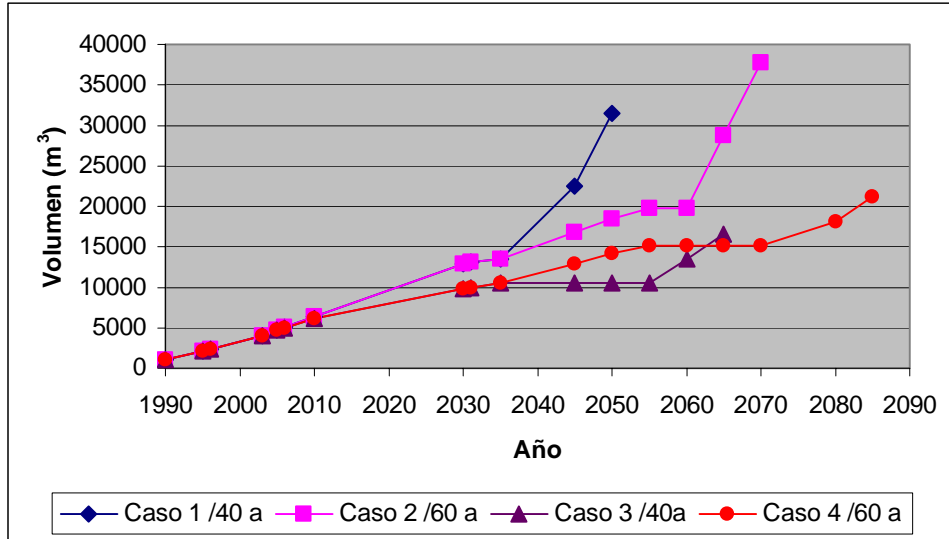


Figura 3. Proyección del volumen de desechos radiactivos para 4 casos

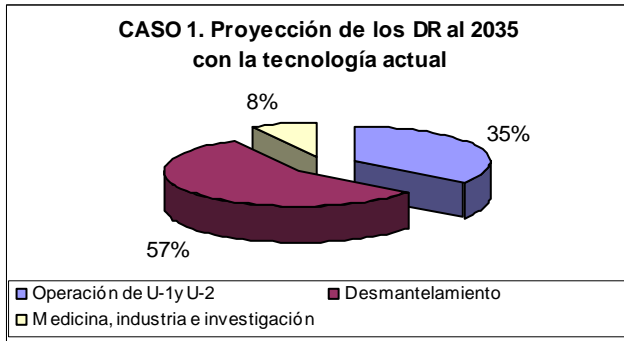


Figura 4. Porcentaje para el caso 1

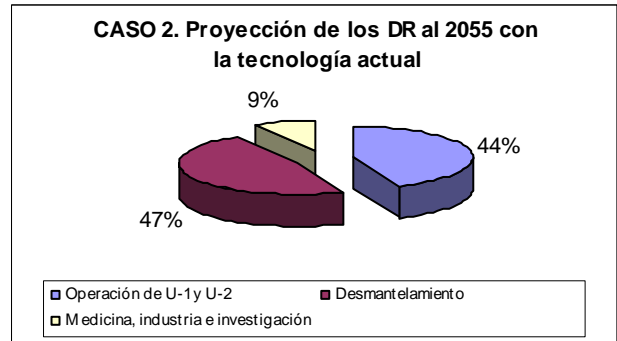


Figura 5. Porcentaje para el caso 2

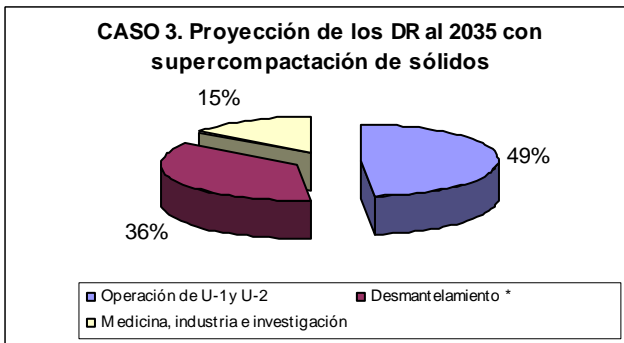


Figura 6. Porcentaje para el caso 3

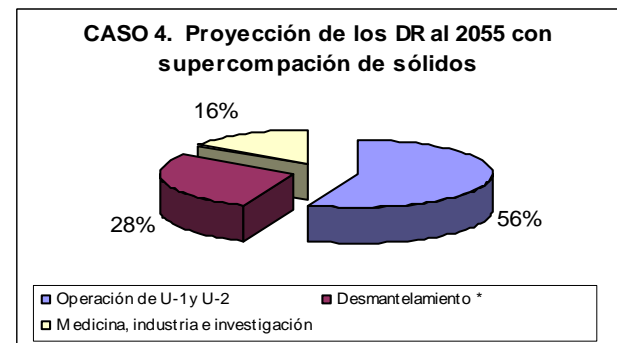


Figura 7. Porcentaje para el caso 4

#### **4. SITIOS DE ALMACENAMIENTO DE DESECHOS RADIATIVOS**

La CLV cuenta con 3 almacenes temporales para los desechos radiactivos generados por la operación de los 2 reactores nucleares.

El ININ opera el CADER para el almacenamiento temporal de desechos radiactivos generados en medicina, industria e investigación del país. Considerando el volumen anual de desechos que recibe esta instalación, se estima que la capacidad de saturación de sus almacenes se alcanzará en 5 años [8].

A principios de los años 70s operó una planta experimental para la producción de uranio, la cual fue cerrada, con lo cual se generaron aproximadamente 65,000 toneladas de jales de uranio y tierra contaminada con jales de uranio en el año de 1984, las cuales fueron trasladadas y almacenadas en forma definitiva en un confinamiento definitivo en Peña Blanca. Este confinamiento se localiza en la sierra de Peña Blanca, colonia Santa Cruz del Peñol, municipio de Chihuahua, Chih.

El sitio de confinamiento La Piedrera, Chih., fue designado exclusivamente para los desechos radiactivos, tales como varilla, material de proceso, escoria y tierra contaminada con  $^{60}\text{Co}$ , producidos por el accidente de ciudad Juárez, Chih. en diciembre de 1983 y su clausura fue en el año 1985.

En el sitio de San Felipe, B.C., se almacenó una pequeña cantidad de varilla contaminada con  $^{60}\text{Co}$  resultante del mismo accidente de ciudad Juárez. Se estima que dentro 20 años, el material almacenado en estos sitios no representará riesgo alguno para la población y el ambiente, y por tanto podría liberarse del control regulador.

#### **5. NECESIDAD DE UN ALMACÉN DEFINITIVO**

Las necesidades de nuestro país hacen indispensable la construcción de este tipo de instalaciones, por lo que uno de los objetivos prioritarios del organismo responsable de la gestión de los desechos radiactivos en México, es la construcción de una instalación de este tipo, con la capacidad suficiente para recibir los desechos producidos en las aplicaciones energéticas y no energéticas, conforme a la normativa aplicable con una proyección mínima de 80 años.

El sitio seleccionado para la construcción del almacén definitivo, deberá ser defendible técnicamente ante toda la normativa nacional e internacional, así como a la crítica de grupos activistas. La caracterización de este sitio, deberá garantizar que éste puede conservar la integridad de los desechos radiactivos y la estabilidad geológica del sitio, por lo menos durante 500 años, considerando el principio de no dejar cargas a las generaciones futuras.

Es recomendable incluir en el programa de gestión de desechos radiactivos, los conceptos de reversibilidad y recuperabilidad, lo cual refuerza el nivel de seguridad en estos repositorios, incrementa el nivel de flexibilidad en los mismos y amplía su habilidad para responder a cambios tecnológicos relevantes y a factores políticos que benefician el objetivo del repositorio y la confianza de la sociedad sobre éste.



## 6. RESPONSABILIDAD DEL ESTADO

Conforme a la Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear en México [12], las actividades de la industria nuclear en el país, se llevarán a cabo en los términos de los lineamientos y programas que aprueba el Ejecutivo Federal por conducto de la Secretaría de Energía (SENER), incluyendo la gestión de los desechos radiactivos producidos en el país.

Considerando la capacidad de los almacenes temporales de desechos radiactivos en el país, es necesario que un grupo de especialistas de diferentes instituciones nacionales coordinado por la SENER, concluyan una propuesta de Política Nacional para la Gestión de Desechos Radiactivos, con la finalidad de establecer las bases técnicas y normativas para la planeación nacional en esta materia, así como la elaboración de un proyecto para la selección y construcción de un almacén definitivo de desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio, para satisfacer las necesidades de los próximos 50 a 80 años. En forma paralela, la CNSNS ha avanzado en la elaboración de la normativa nacional aplicable en este tema.

Dadas las características de alta sensibilidad que tiene el tema de la gestión de desechos radiactivos en la opinión pública, es muy importante que en el grupo de especialistas se logre una integración de profesionales de las áreas técnica, jurídica y de comunicación; durante las etapas de planeación y ejecución del plan, con el propósito de presentar estrategias de trabajo bien soportadas por todas las componentes necesarias para su presentación en los diferentes foros que se requiera. Dado que a pesar de los beneficios que representa el uso de la energía nuclear en la actualidad, ya sea en las aplicaciones pacíficas energéticas o las no energéticas, este tema es altamente sensible al manejo de los medios de comunicación y a la opinión pública.

Uno de los principales obstáculos por el que la sociedad no acepta el concepto de disposición final, es el temor por la inseguridad y la desconfianza por el desconocimiento de la tecnología y sus opciones. La sociedad considerará que la gestión de desechos radiactivos será segura, cuando se tomen en cuenta debidamente la tecnología, la ética, la economía, la ecología y las preocupaciones sociopolíticas; pero no antes.

Como ya se ha mencionado, el objetivo de la gestión de los desechos radiactivos es obrar con éstos de forma tal, que se protejan la salud humana y el ambiente, ahora y en el futuro sin imponer cargas indebidas a las generaciones futuras. Para cumplir en gran parte, con este objetivo, se requiere definir un marco jurídico en el cual se incluya una política nacional específica, sus estrategias y la conformación de un sistema nacional para la gestión de estos desechos. Asimismo, deberán definirse los mecanismos de asignación de recursos económicos a la entidad responsable de realizar esta tarea.

Entre los factores más importantes que deberá incluir la política nacional para la gestión de los desechos radiactivos en México, se tienen:

- a) Establecer una política que sea consistente con los 9 principios establecidos por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y la normativa nacional, que considere la situación actual y futura del país en las aplicaciones energéticas y no-energéticas, y los compromisos que potencialmente adquirirá México cuando se ratifique en el OIEA la Convención de Gestión Segura de Desechos Radiactivos y Combustible

Gastado. Esta política deberá asignar responsabilidades a los productores, reguladores y gestores de los desechos radiactivos en nuestro país, e incluir las previsiones necesarias para resolver los siguientes problemas:

- La selección de un sitio y construcción de un almacén definitivo para los desechos radiactivos de nivel bajo.
  - La recuperación de los desechos radiactivos inhumados del CADER, así como la recuperación del predio.
  - La vigilancia de los sitios donde se almacenan en forma definitiva los desechos radiactivos con  $^{60}\text{Co}$  y jales de uranio.
  - La selección de mecanismos para incentivar el retorno al país de origen de las fuentes radiactivas gastadas, a través del proveedor correspondiente, o bien incentivar el pago de un impuesto sobre el precio de la fuente radiactiva, el cual garantice su disposición final en el país al término de su vida útil.
- b) Definir una estrategia que permita hacer efectiva la política propuesta, identificando y analizando las diferentes opciones para el establecimiento de una infraestructura que permita efectuar la gestión de los desechos radiactivos de forma segura y congruente con las necesidades reales, presentes y futuras de México.
- c) Deberán considerarse escenarios que contemplen la inclusión o creación de organismos nacionales, así como de la participación de la iniciativa privada, y durante el análisis considerar el cumplimiento con las recomendaciones dadas por el OIEA.
- d) La política propuesta, deberá complementarse con la estrategia para la implantación del Sistema Nacional para la Gestión de Desechos Radiactivos en México, la que preferentemente deberá ser elaborada por el organismo que se designe como responsable de la gestión de estos desechos.
- e) Designación de una entidad responsable de la gestión de los desechos radiactivos. Para ello se tienen las siguientes propuestas:
- Formación de un grupo pequeño altamente especializado en la SENER, cuya función exclusiva sea la coordinación de las actividades de desechos radiactivos y que contrate a empresas para la realización de las mismas.
  - Que la SENER delegue la facultad en alguna de las entidades del sector relacionadas con el tema como el ININ o la CFE/CLV.
  - Creación de una entidad paraestatal de tamaño y presupuesto adecuado, cuya función única sea la gestión de desechos radiactivos en México. Para ello, se requiere modificar el artículo 27 de la Ley Reglamentaria y tener una ley de creación de esta entidad. Dado el procedimiento que hay que seguir para su aprobación, se estima un período de 3 años.

## 7. RECOMENDACIONES

La responsabilidad del Estado es relevante para impulsar el establecimiento de un Sistema Nacional de Gestión de Desechos Radiactivos, donde la definición del marco jurídico nacional, la designación de una entidad responsable para la gestión de estos desechos, la definición de las

responsabilidades de las entidades relacionadas con el tema, el mecanismo de asignación de recursos económicos a corto, mediano y largo plazo, así como las estrategias de manejo de opinión pública, son los factores claves para resolver este problema. La aceptación pública de políticas y soluciones regulatorias para la gestión de desechos radiactivos, es un requerimiento clave en México.

Toda estrategia en torno a este sistema nacional, deberá partir del principio de que para la gestión de los desechos radiactivos, se deberá actuar de forma tal, que se protejan la salud humana y el ambiente, ahora y en el futuro sin imponer cargas indebidas a las generaciones futuras, mediante la aplicación estricta de la normativa aplicable.

La credibilidad de la opinión pública es el punto central a trabajar. Es por ello, que para incrementar la confianza de la sociedad mexicana respecto a las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en México, se requiere diseñar mecanismos que permitan transmitir la información técnica necesaria, desde una perspectiva acorde con las condiciones actuales y bajo un diseño de comunicación adecuado a cada uno de los sectores de la sociedad y entidades gubernamentales. De tal forma que se logren las condiciones sociales y de opinión técnica necesarias para fortalecer y/o reactivar programas gubernamentales relacionados con la producción de energía nucleoelectrica y la necesaria gestión de desechos radiactivos, dentro de un ambiente de tranquilidad y continuidad operacional.

Previo a la selección del sitio y la construcción del almacén definitivo de desechos radiactivos, se deberá tener el apoyo necesario de las autoridades federales, estatales y municipales, así como incluir un plan de desarrollo integral de la región donde se localizará este almacén.

Es recomendable incluir en el programa de gestión de desechos radiactivos, los conceptos de reversibilidad y recuperabilidad, lo cual refuerza el nivel de seguridad en estos repositorios, incrementa el nivel de flexibilidad en los mismos y amplía su habilidad para responder a cambios tecnológicos relevantes y a factores políticos que benefician el objetivo del repositorio y la confianza de la sociedad sobre éste.

Finalmente, el establecimiento de un repositorio definitivo para desechos radiactivos de nivel bajo e intermedio es una necesidad real del país a mediano plazo, considerando el volumen de desechos almacenados a la fecha, los generados anualmente y los proyectados a mediano y largo plazo al término de la operación de los reactores nucleares actualmente en operación y derivados de las aplicaciones no-energéticas.

## **8. CONCLUSIONES**

El futuro de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear, se reforzará en la medida en que se de un impulso decidido, continuo y congruente del Estado y las Instituciones involucradas, para la definición de la Política Nacional para la Gestión de los Desechos Radiactivos, el establecimiento del Sistema de Gestión, la definición clara del marco jurídico y financiero y la consolidación de un grupo de profesionales interdisciplinario, altamente especializado, que continúe los estudios de ingeniería, físico-químicos, geológicos, socioeconómicos, entre otros, que son necesarios para la selección, licenciamiento y operación del sitio para un almacén

definitivo en el país. Este grupo interdisciplinario, deberá seleccionar y analizar las mejores estrategias para la operación óptima de los procesos, con la máxima reducción de volumen posible y a un costo razonable, considerando el menor impacto al ambiente y no imponer cargas innecesarias a las generaciones futuras.

En este trabajo, se demuestra como del resultado de la simulación de 4 casos, es factible apoyar la toma de decisión, ya que por proceder a desmantelar el reactor 30 años después, puede ahorrarse el 50% del volumen de desechos final, sin importar que el reactor opere 40 o 60 años. Asimismo, este alargamiento en la operación de las 2 unidades representará solo un incremento del 20% del total.

## AGRADECIMIENTOS

Al personal de la Subgerencia de Producción de la CLV/CFE, la Gerencia de Seguridad Radiológica del ININ y la Gerencia de Seguridad Radiológica de la CNSNS, por proporcionar información y permitir utilizarla para la elaboración de este trabajo.

## REFERENCIAS

1. Baizabal, R., “Desechos Radiactivos de Medio y Bajo Nivel de la Central Laguna Verde”, Subgerencia de Ingeniería, *Anuario de la Comisión Federal de Electricidad* (2000).
2. Secretaría de Energía, “NOM-04-NUCL-1996.- Clasificación de los Desechos Radiactivos”, *Diario Oficial de la Federación, México*, Marzo 4 (1996).
3. Herrera, H., Comunicación privada, Subgerencia de Producción, Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde/Comisión Federal de Electricidad (2002).
4. Sánchez, S., Comunicación privada, Gerencia de Ingeniería, Central Nucleoeléctrica de Laguna Verde/Comisión Federal de Electricidad (2003).
5. Paredes L., “La Gestión de los Desechos Radiactivos en México”, Informe Técnico, Conferencia de Ingreso a la Academia de Ingeniería, Marzo p. 1-25 (2002).
6. Maldonado, H., Comunicación privada, Gerencia de Seguridad Radiológica, Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias (2003).
7. Paredes L., Sánchez S., Ortiz R., “Low and Intermediate Level Radioactive Waste in Mexico”, *Proceedings of the International Conference on Issues and Trends in Radioactive Waste Management*, International Atomic Energy Agency, Vienna, Austria, 9-13 December, p. 67-70 (2002).
8. Jiménez, J., Comunicación privada, Departamento de Desechos Radiactivos, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (2004).
9. Paredes L., “El Papel de la Energía Nuclear ante las Necesidades Energéticas Futuras”, VIII *Memorias del Congreso Internacional de Ingeniería Mecánica*, Universidad de las Américas, Cholula, Pue., México, 23-25 febrero (2004).
10. Jiménez, J., et. al., “Datos de Gestión de Desechos Radiactivos en México”, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Informe técnico SR-98-20 (1998).
11. Reyes, J., et. al., “Inventario de Desechos Radiactivos del CADER”, Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Informe técnico, Diciembre (2001).
12. Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión, Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear, *Diario Oficial de la Federación, México*, Febrero 4 (1985).