



MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química

28° Congreso Nacional de Educación Química

26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

PROSPECCIÓN DE GENERACIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

F. Monroy-Guzmán, M. Emeterio Hernández

Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares. Gerencia de Seguridad Radiológica.

Km 36.5 Carretera México-Toluca, 52045, Edo. de México.

fabiola.monroy@inin.gob.mx

Resumen

El presente trabajo propone una metodología de prospección orientada a establecer las necesidades tecnológicas que la nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos, que se encuentra en fase de diseño, requerirá para tratar y acondicionar los desechos radiactivos generados por actividades no energéticas, a ser gestionados por el Departamento de Desechos Radiactivos (DR) del ININ. La metodología propuesta se centra en seis aspectos clave: la definición de objetivos generales, específicos y de horizonte temporal de la prospección, la recopilación de datos, la selección del modelo de prospección y la aplicación del modelo. El método fue aplicado a los datos del inventario de desechos radiactivos ingresados para su gestión al DR en los periodos 2003 a 2008. Tres modelos de prospección fueron aplicados: atenuación exponencial lineal, doble y de promedios móviles. El modelo de atenuación exponencial doble fue elegido en este estudio y su aplicación sugiere que la cantidad de desechos radiactivos que recibirá el DR disminuirá en un 14% en los próximos 10 años y que la cantidad de los desechos radiactivos de líquidos acuosos y sólidos compactables será el doble de los desechos radiactivos de líquidos orgánicos y sólidos no compactables respectivamente.

1. Introducción

La gestión de desechos radiactivos tiene por objetivo primordial, el asegurar el confinamiento eficaz y durable de estos desechos, mediante un apropiado acondicionamiento y aislamiento, a fin de evitar su dispersión hacia el medio ambiente [TR-402]. La gestión de desechos radiactivos comprende básicamente cinco etapas, como se muestra en la figura 1, en la primera, los desechos son sometidos a un pre-tratamiento, que consiste principalmente en su colección de los centros generadores de desechos y posteriormente su segregación de acuerdo al radioisótopo que contenga y su estado físico; en la segunda etapa el objetivo es disminuir el volumen de estos desechos utilizando diversas técnicas de tratamiento de acuerdo con el tipo de desecho que se trate, sólidos compactable, no compactable, líquido, etc.; en la cuarta etapa los desechos son inmovilizados mediante procesos de solidificación o inclusión en matrices sólidas (cementos, polímeros, materiales vítreos), en la quinta etapa los desechos son almacenadas transitoriamente y finalmente confinados en un repositorio superficial o subterráneo de acuerdo al tipo de desecho [TR-402, ILU-00, MON-08].

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

Los desechos radiactivos generados en nuestro país provienen principalmente de sus aplicaciones en actividades no energéticas y energéticas. Los desechos radiactivos generados en México por aplicaciones no energéticas de los radioisótopos son producidos principalmente por instalaciones médico-hospitalarias, industriales y centros de investigación. Estos desechos radiactivos son gestionados por el Departamento de Desechos Radiactivos (DR) del ININ [MON-08]. Actualmente el DR está diseñando una nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos para su tratamiento y acondicionamiento, a fin de modernizar sus instalaciones existentes. El diseño está en etapa conceptual, en donde se eligen los métodos, equipos e instalaciones necesarias para la nueva planta, sin embargo para la fase del diseño de detalle de la instalación, se requiere definir la cantidad y el tipo de desechos radiactivos que deberán ser gestionados en el corto, mediano y largo plazo. Por tanto, este trabajo propone un análisis prospectivo de la cantidad de desechos radiactivos que recibirá en un futuro el DR para su gestión, aprovechando que el DR posee un registro minucioso del tipo, cantidad, actividad y origen de los desechos radiactivos que ingresan a sus instalaciones, de tal forma que se cuenta con una sólida base de datos que puede ser utilizada como una valiosa herramienta para establecer estrategias de gestión a mediano y largo plazo. Este ejercicio de prospección permitirá igualmente, orientar las actividades de investigación, desarrollo tecnológico y/o servicios en función de las futuras demandas tecnológicas, económicas y sociales que la gestión de estos desechos impondrá. Para ejemplificar la metodología propuesta, se analizarán los datos de volúmenes y masas de desechos radiactivos ingresados al DR de 2003 a 2008.

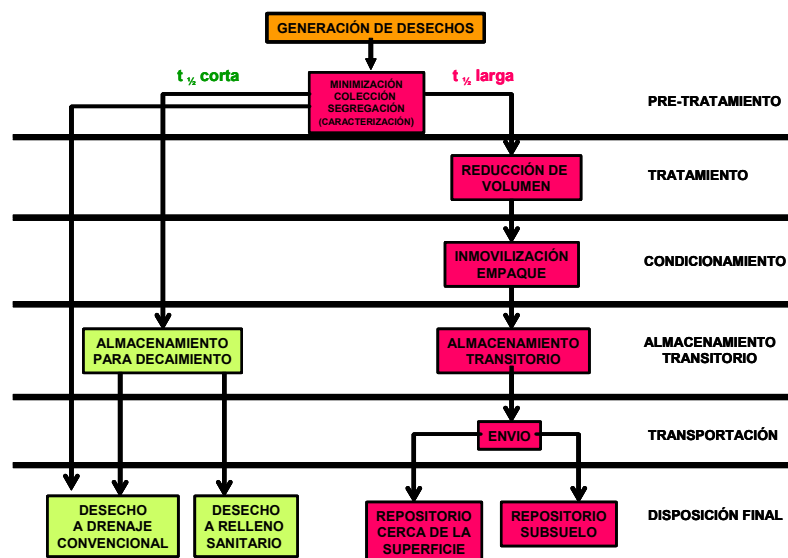


Figura 1. Etapas de la gestión de desechos radiactivos

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

2. ANÁLISIS PROSPECTIVO

2.1 Enfoque Conceptual

Las técnicas de prospección funcionan sobre datos generados en sucesos históricos y se basan en la aplicación de tres conceptos fundamentales: (1) la recopilación de datos, (2) la construcción del modelo de prospección y (3) la extrapolación con el modelo elegido (Ver Fig. 2). La selección del modelo depende de varios criterios, entre los que se incluyen: el patrón exhibido por los datos, la cantidad disponible de datos históricos o la extensión del horizonte del pronóstico. Así pues, como primer paso, se presentan los datos en una gráfica de series de tiempo para identificar los patrones de la serie, los cuales pueden poseer una tendencia en el tiempo, positiva o negativa, ser estacionarios es decir que no cambian significativamente con el tiempo, poseer un patrón cíclico o presentar fluctuaciones irregulares o aleatorias. A partir de este análisis preliminar se elige el modelo a aplicar a nuestros datos de entre varias técnicas de prospección, por ejemplo las técnicas de promedio móvil y de atenuación exponencial, desarrolladas en base al promedio de observaciones ponderadas y al promedio de valores anteriores de una serie en una forma decreciente (exponencial) respectivamente. Ambos métodos son con frecuencia muy exactos y están ampliamente difundidos por su simplicidad. Otro tipo de modelos son los de regresión lineal y múltiple, utilizados principalmente para conocer el impacto de una variable independiente sobre una variable dependiente a fin de comprender y controlar mejor los sucesos presentes así como predecir mejor los futuros. Por último los métodos de análisis de series de tiempo conjugan los cuatro patrones de las series de tiempo: la tendencia a largo plazo, los índices estacionales, el componente de ciclo y el de irregularidad [HAN-96, MUJ-06, WIL-07]. Una vez seleccionado y aplicado el método, este puede evaluarse retrospectivamente, es decir se ve qué tan bien se ajustan los resultados del modelo a los datos históricos que se usaron para desarrollar los modelos.



Figura 2. Conceptualización de metodología de análisis prospectivo

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

2. Metodología de prospección

La metodología general del proceso de prospección propuesta sigue la secuencia descrita a continuación:

- A. Especificar los objetivos, es decir precisar con claridad el papel que la prospección va a desempeñar en el proceso de decisión.
- B. Determinación de qué pronosticar, definiendo exactamente que se desea proyectar o pronosticar.
- C. Identificar las dimensiones de tiempo, estableciendo la longitud del horizonte de pronóstico. Para las prospecciones anuales es recomendable de uno a cinco años o más.
- D. Recopilación de datos, reunir los datos necesarios y pertinentes para la preparación de la prospección.
- E. Selección del modelo de prospección, en función del tipo de datos, su patrón, longitud del horizonte, etc.
- F. Aplicación y evaluación del modelo, es recomendable probar varios modelos para evaluar su funcionamiento en un sentido retrospectivo es decir, basado en el ajuste a los datos históricas.
- G. Presentación del pronóstico de manera clara. de forma que suministra una comprensión de cómo se obtuvieron los números e inspire confianza.

2.3 Análisis Prospectivo Aplicado a la Gestión de Desechos Radiactivos en México

El método propuesto de análisis prospectivo anteriormente descrito se aplicó en este trabajo a los desechos radiactivos líquidos y sólidos recibos por el DR durante los últimos 5 años.

A. Objetivo(s) de la prospección

El DR está diseñando una nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos, que permitirá tratar y acondicionar todos los desechos radiactivos generados por las aplicaciones no energéticas en México. El diseño de la nueva planta, basado en las normas mexicanas sobre gestión de desechos radiactivos NOM-036-NUCL-2001, está en la fase de ingeniería conceptual en donde se establece la maquinaria, equipo, instrumentos, herramientas, etc. que la instalación necesita para operar [IT-08]. Para la etapa de ingeniería de detalle, es necesario seleccionar las dimensiones de las instalaciones y equipos que deberán ser adquiridos, diseñados o construidos para el tratamiento y/o acondicionamiento de los desechos radiactivos

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

que ingresen al DR, por tanto es imperativo establecer la cantidad de desechos a gestionar en la nueva planta, en el corto, mediano y largo plazo.

B. Definición de prospección específica

De acuerdo a los objetivos descritos previamente, el DR requiere pronosticar la cantidad y tipo de desechos radiactivos, que serán recibidos por el DR y que tendrán que ser tratados y acondicionados en la nueva planta de tratamiento de desechos, en el corto, mediano y largo plazo.

C. Horizonte temporal del pronóstico

En particular, en este trabajo se presenta un análisis prospectivo a partir de las estadísticas de los desechos radiactivos recibidos en el DR en los últimos 5 años y se pretende realizar un pronóstico de por lo menos 10 años.

D. Recopilación de datos

El DR recibe anualmente desechos radiactivos en forma líquida y sólida. Los desechos radiactivos líquidos son de origen acuoso o de tipo orgánico, en tanto que los desechos radiactivos sólidos pueden ser sólidos compactables, como por ejemplo guantes, papel, bolsas, plásticos, etc., no compactables (equipos o instrumentos), de origen biológico o resinas de intercambio iónico. Estos desechos radiactivos son generados en instalaciones médicas, industriales y de investigación en nuestro país, y pueden contener radioisótopos de vidas medias largas como los radioisótopos: U-238 (4.4×10^9 a), Th-232 (1.4×10^{10} a), Am-234 (432 años) o C-14 (5730 a); vida medias intermedias como : H-3 (12.3 a), Tl-204 (3.7 a) o Na-22 (2.6 a); o cortas como los radioisótopos: P-32 (14.2 d), S-35 (87.4 d), Ca-45 (165 d), Rb-86 (18.8 d), el I-125 (60.2 d) o el Tc-99m (6.02 h), etc. [Liz-09].

La figura 3 presenta de manera condensada, el volumen o masa de desechos radiactivos líquidos y sólidos respectivamente, que han ingresado al DR para su gestión, de 2003 a 2008. De acuerdo a estos datos, en promedio, el 71 % de los desechos sólidos totales ingresados en la PATRADER de 2003 a 2008 son compactables, el 24 % no compactables y el 4 % biológicos, en tanto que el 65 % de los desechos líquidos totales son acuosos y el 35 % orgánicos. El volumen total de los desechos radiactivos líquidos ha pasado de aproximadamente 5000 L a 2000L de 2003 a 2008. En este periodo, el volumen de desechos líquidos acuosos recibido siempre fue mayor que el de los desechos líquidos orgánicos.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

En cuanto a los radioisótopos contenidos en estos desechos, aún cuando no se presentan gráficamente estos datos, se tienen los siguientes porcentajes promedio de los últimos 5 años en relación a su volumen o masa total. Para los desechos líquidos orgánicos, el H-3 (12.3 a) está presente en el 54 % de estos desechos, siguiéndole en importancia el P-32 (14.28 d) con el 20 % y el C-14 (5730 a) con el 14 %, siendo todos estos radioisótopos emisores beta puros. En el caso de los desechos líquidos acuosos, el 41 % de éstos contienen P-32, el 39 % H-3, el 8 % S-35 (87.4 d) y el 6 % C-14. El 90 % de los desechos biológicos presentan Fe-59 (44.6 d). Los radioisótopos más abundantes en los desechos sólidos no compactables varían anualmente, en los desechos recibidos en 2003 y 2004 el 91% contienen U-238 (4.4×10^9 a), en los de 2006 el Cs-137 (54.5 %) y el I-131 (17.43 %) son los más importantes, en 2007 prácticamente el 99.99 % contienen Ra-226 (1600 a) y en el 2008 el Ni-63 (96 a) está presente en el 80 % de estos desechos. Los desechos sólidos compactables engloban un mayor número de radioisótopos que el resto de los desechos ingresados en la PATRADER, pero en promedio cuatro radioisótopos son los que invariablemente estuvieron presentes en estos desechos en los últimos 5 años: H-3, P-32, C-14 y I-125 con los siguientes porcentajes respectivamente: 24 %, 19 %, 14 % y 8 % del total de desechos sólidos compactables recibidos de 2003 a 2008.

E. Selección del modelo de prospección

De acuerdo a los datos presentados anteriormente (Fig. 3), existen dos parámetros fundamentales a considerar en el análisis prospectivo: el estado físico de los desechos y la vida media de los radioisótopos contenidos en dichos desechos. Únicamente se presentará en este trabajo el análisis realizado específicamente para el estado físico de los desechos.

La Figura 4 muestra las pautas o patrones de los volúmenes o masas de los desechos radiactivos de líquidos acuosos, orgánicos, sólidos compactables, no compactables y biológicos en función del tiempo. De acuerdo a estos resultados, en todos los casos de estudio, los datos siguen una tendencia; los desechos radiactivos de líquidos acuosos, orgánicos y sólidos compactables poseen una tendencia decreciente, en tanto que los desechos radiactivos de los sólidos no compactables y biológicos presentan una tendencia creciente. La tabla 2 lista los ajustes matemáticos correspondientes a las tendencias presentas por los datos de la figura 4.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

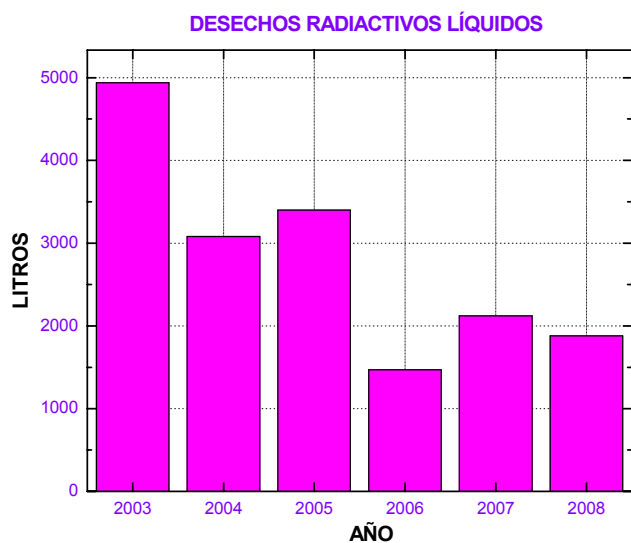
Tipo de desecho radiactivo	Ajuste matemático de datos experimentales
Líquidos acuosos	$\text{Volumen} = 1194 + 1287e^{-(\text{año}-2003)/3.6}$
Líquidos orgánicos	$\text{Volumen} = 517.3 + \left(\frac{1355.9 - 517.3}{1 + 10^{(\text{año}-3.3)}} \right)$
Biológicos	$\text{Kg} = 38131364 - 38020.77 * \text{año} + 9.48 * \text{año}^2$
Sólidos no compactables	$\text{Kg} = 918 + \frac{1398 - 918}{1 + 10^{(3.3-\text{año})}}$
Sólidos compactables	$\text{Kg} = 2449.5 + 5404.6e^{-(\text{año}-2003)/2.08}$

Tabla 2. Ajuste matemático de volúmenes y masas de desechos radiactivos ingresados en el DR de 2003 a 2008.

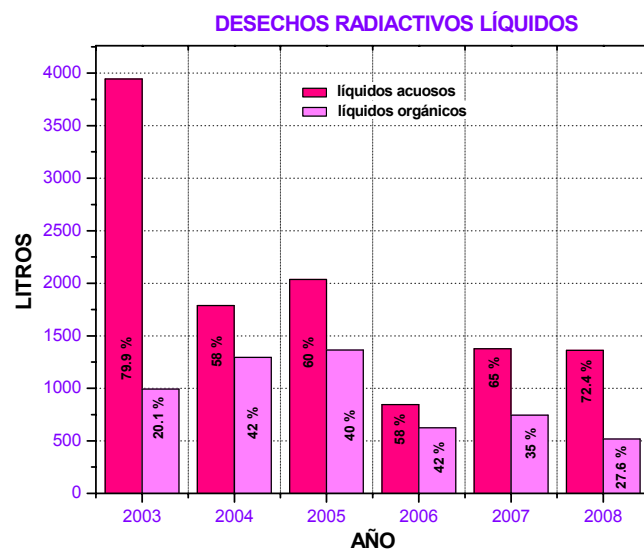
MEMORIAS

Sección Química Nuclear

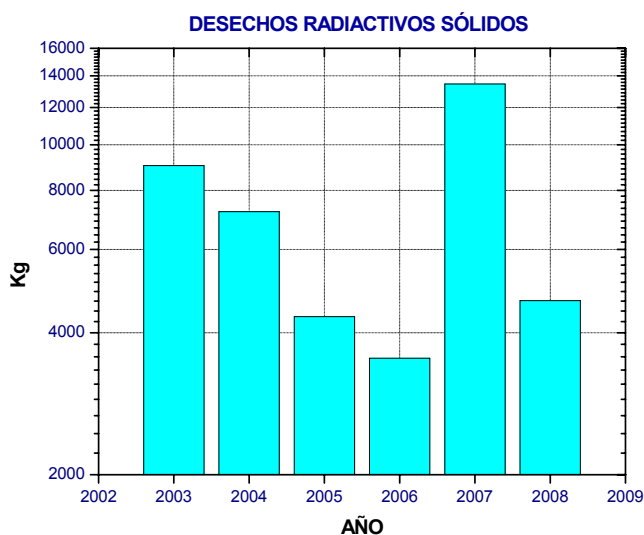
44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México



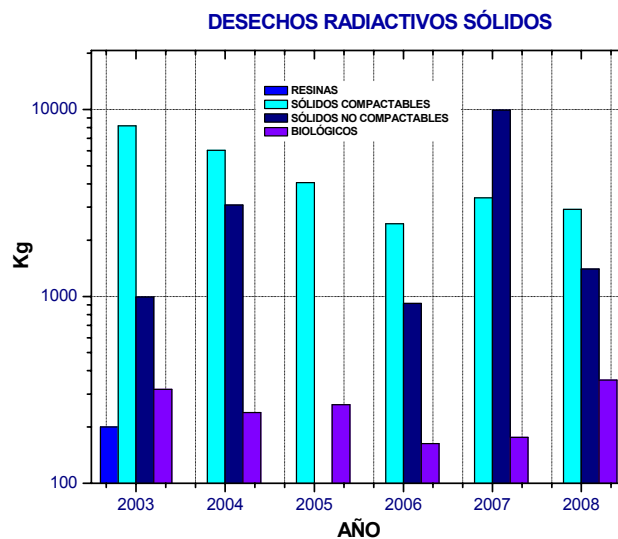
(A)



(B)



(C)



(D)

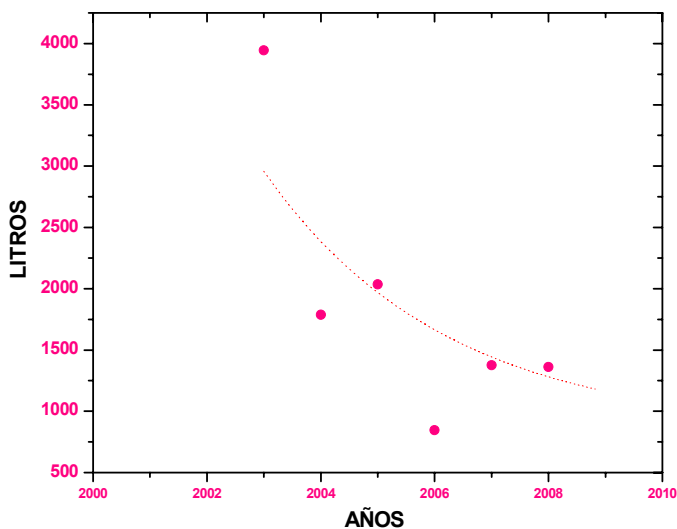
Figura 3. Desechos radiactivos líquidos y sólidos ingresados al DDR de 2003 al 2008. (A) Desechos Radiactivos de Líquidos Totales, (B) Desechos Radiactivos de Líquidos Acuoso y Orgánico Totales, (C) Desechos Radiactivos de Sólidos Totales: Resinas, Sólidos no Compactables, Sólidos Compactables, Biológicos.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

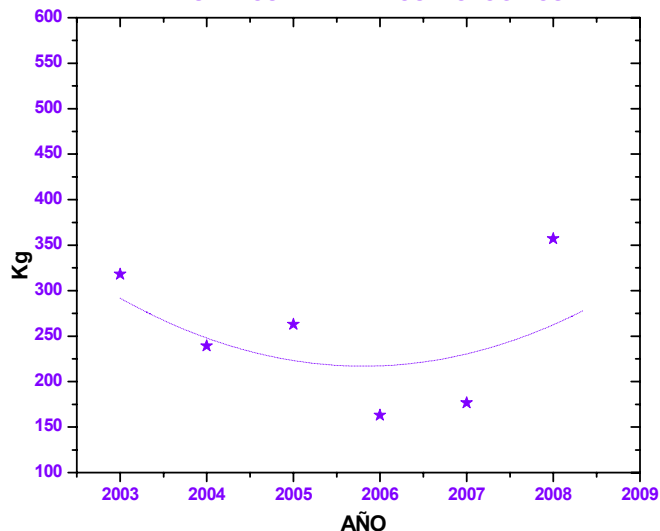
44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

DESECHOS RADIATIVOS DE LÍQUIDOS ACUOSOS



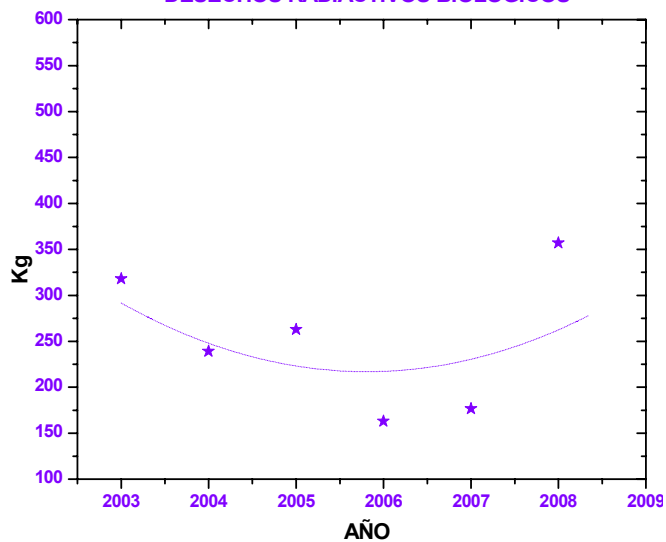
(A)

DESECHOS RADIATIVOS BIOLÓGICOS



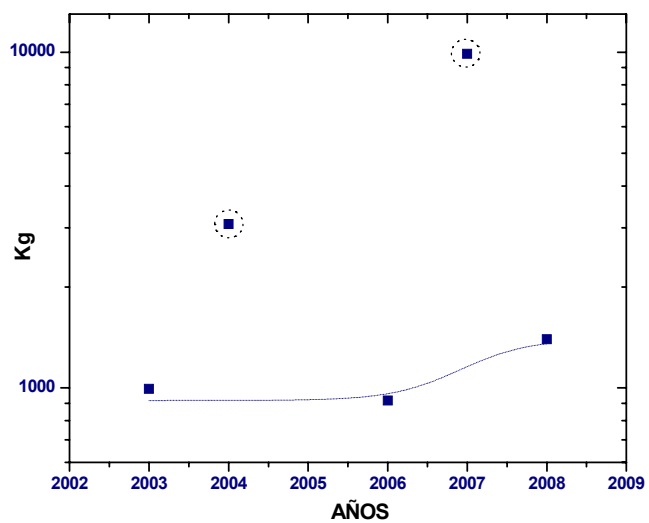
(C)

DESECHOS RADIATIVOS BIOLÓGICOS



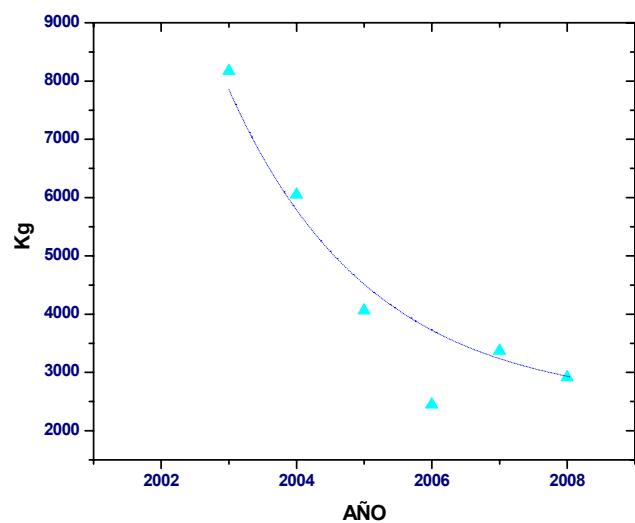
(B)

DESECHOS RADIATIVOS DE SÓLIDOS NO COMPACTABLES



(D)

DESECHOS RADIATIVOS DE SÓLIDOS COMPACTABLES



(E)

Figura 4. Pautas en los volúmenes y masas de Desechos Radiactivos ingresados al DDR de 2003 al 2008. (A) Desechos Radiactivos de Líquidos Acuosos, (B) Desechos Radiactivos de Líquidos Orgánico, (C) Desechos Radiactivos Biológicos (D) Desechos Radiactivos de Sólidos no Compactables, (E) Desechos Radiactivos de Sólidos Compactables.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

F. Aplicación de modelo de prospección

La literatura recomienda aplicar los métodos de atenuación, a datos que presenten tendencias positivas o negativas, como es el caso de nuestros datos (Ver Fig. 4 y tabla 2), por lo que se determinó aplicar a los datos reales tres diferentes métodos de pronóstico: atenuación exponencial lineal, atenuación exponencial doble (Holt) y promedios móviles. Este último no es una técnica de atenuación, pero es un modelo considerando estándar que también puede aplicarse a datos con una tendencia determinada [HAN-96, MUJ-06, WIL-07]. La aplicación y evaluación de los tres modelos seleccionados a los datos reales (Ver Fig. 3) fue llevada a cabo mediante el software ForecastX Wizard™, versión 6.0.

La tabla 3 muestra los porcentajes de error medio absoluto (PEMA) resultado de la aplicación de los modelos de atenuación exponencial y de promedios móviles a los datos reales. Estos errores proporcionan una indicación de qué tan grandes son los errores de pronóstico comparados con los valores reales. De acuerdo a estos resultados, el modelo que presenta el mejor PEMA, en todos los casos de estudio, fue el método de atenuación exponencial doble, por lo que, la figura 5 muestra gráficamente únicamente la aplicación del modelo de atenuación doble a los datos reales mostrados en las figuras 3 y 4. Los datos reales se muestran a color y el modelo de prospección ajustado en negro y líneas punteadas.

Tipo de desecho radiactivo	Porcentaje de error medio absoluto (PEMA)		
	Atenuación exponencial lineal	Atenuación exponencial doble	Promedios móviles
Sólidos compactables	33.97%	31.65%	36.62%
Sólidos no compactables	35.95%	34.19%	37.79%
Líquidos acuosos	33.97%	31.65%	36.62%
Líquidos orgánicos	33.97%	31.65%	36.62%
Biológicos	33.97%	31.65%	36.62%

Tabla 3. Porcentajes de error medio absoluto obtenidos en los tres métodos de pronóstico aplicados a los datos reales.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

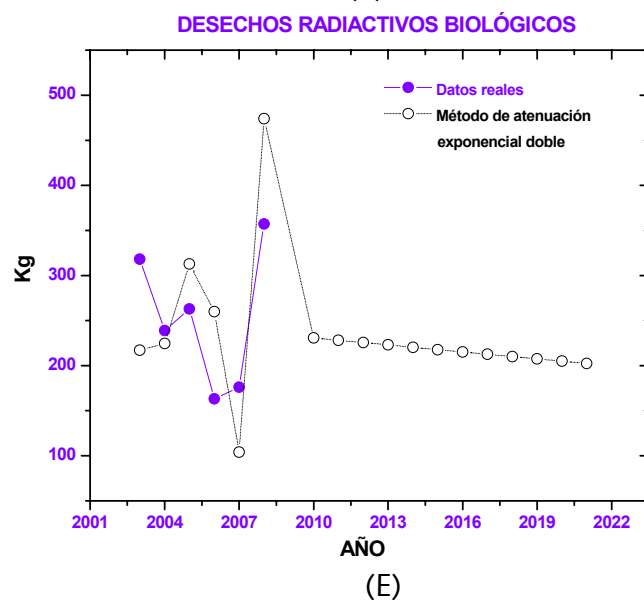
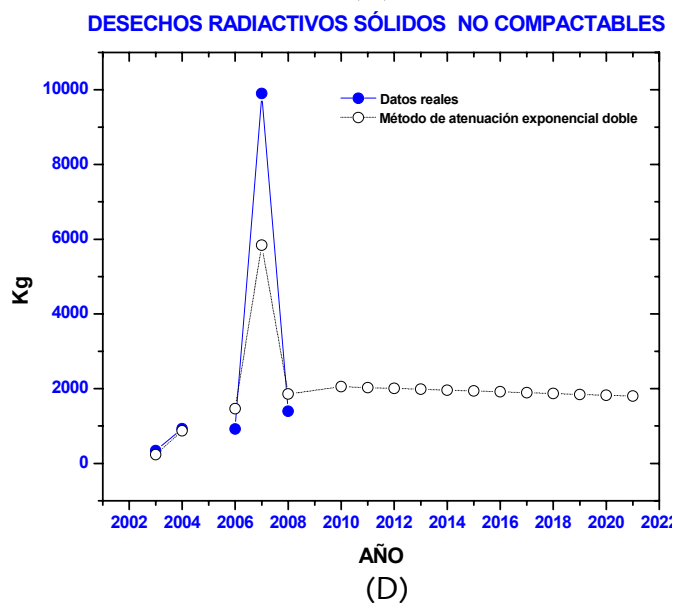
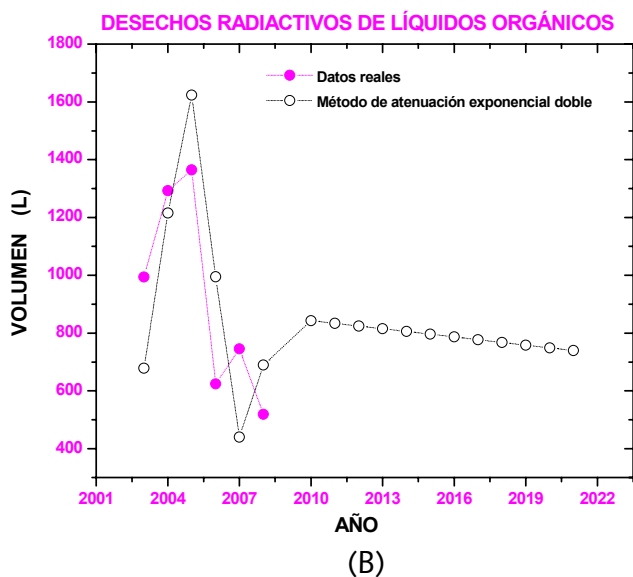
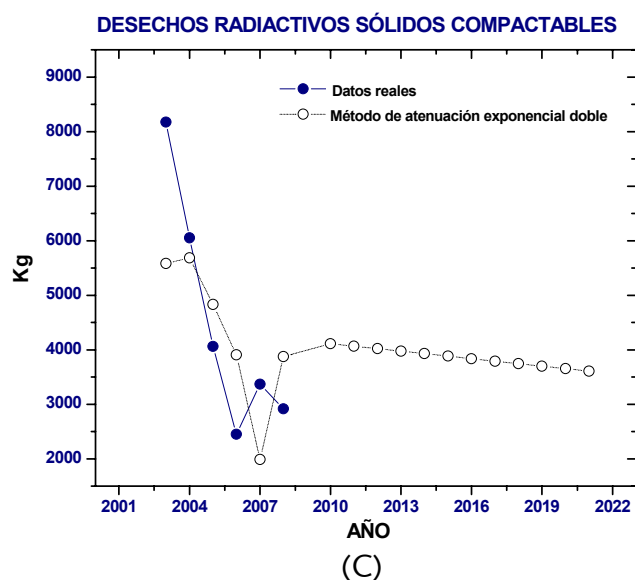
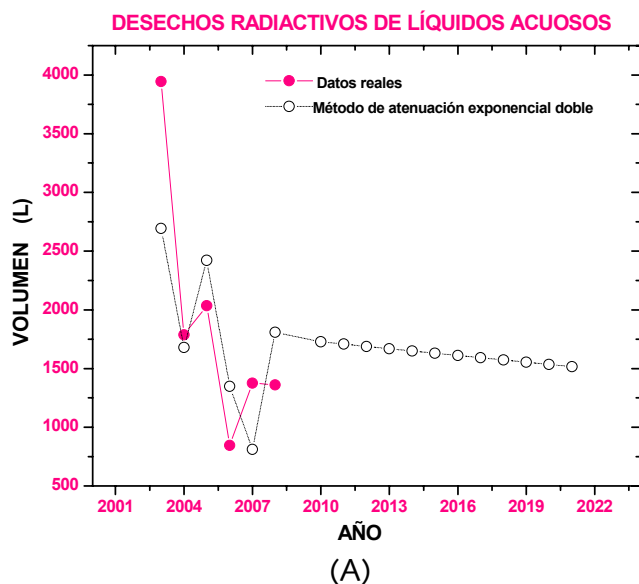


Figura 5. Aplicación de modelos de pronóstico (líneas punteadas) a desechos radiactivos ingresados al DDR de 2003 al 2008. (A) Desechos Radiactivos de Líquidos Acuosos, (B) Desechos Radiactivos de Líquidos Orgánicos (C) Desechos Radiactivos Biológicos. (D) Desechos Radiactivos de Sólidos Compactables (E) Desechos Radiactivos de Sólidos no Compactables.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

F. Prospección

La tabla 3 presenta las cantidades promedio de desechos radiactivos ingresados al DR de 2003 a 2008, así como el pronóstico de la cantidad de desechos radiactivos promedio, que se espera recibirá el DR entre 2010 y 2021, obtenidos estos últimos datos a partir de los resultados presentados en la figura 5 (Ver sección F). Estos datos nos permiten inferir los siguientes pronósticos:

- ❖ La cantidad de desechos radiactivos, tanto sólidos como líquidos, que ingresarán al DR, disminuirá en un 14 % en los próximos 10 años.
- ❖ El DR espera recibir el doble de masa de desechos radiactivos de sólidos compactables que no compactables, y el doble de volumen de desechos líquidos acuosos que orgánicos.

Tipo de desecho radiactivo	Datos reales promedio	Prospección promedio
	2003-2008	2010-2021
Sólidos compactables	4503 Kg	3856 Kg
Sólidos no compactables	2248 Kg	1920 Kg
Líquidos acuosos	1892 L	1626 L
Líquidos orgánicos	923 L	795 L
Biológicos	252 Kg	215 Kg

Tabla 4. Prospección de desechos radiactivos a recibir en los próximos 10 años en el DR en comparación con los desechos radiactivos ingresados entre 2003 y 2008.

Para poder dimensionar las instalaciones de la nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos y precisar cuales son los procesos de tratamiento o acondicionamiento más adecuados por implementar, es importante que el análisis prospectivo presentado en este trabajo, sea complementado con los resultados de prospección del tipo de radioisótopo contenido en cada desecho radiactivo, el cual puede realizarse, aplicando la misma metodología de prospección desarrollada en este trabajo.

Por otra parte, es recomendable aplicar el método con un escenario básico de referencia de por lo menos 10 o 15 años y considerar la ocurrencia de incidentes fortuitos, que hacen prever la existencia futura de volúmenes importantes de

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

residuos radiactivos con un contenido en radiactividad muy bajo, con el fin de perfeccionar aún más nuestro análisis prospectivo.

3. CONCLUSIONES

La metodología de prospección propuesta en este trabajo está integrada por las siguientes etapas: definición de objetivos generales, específicos y de horizonte temporal del pronóstico, recopilación de datos, selección de un modelo de prospección y finalmente su aplicación. Esta metodología fue aplicada al inventario de desechos radiactivos sólidos y líquidos ingresados para su gestión al Departamento de Desechos Radiactivos (DR) en el periodo de 2003 a 2008 con el fin de dimensionar la capacidad de las instalaciones de la nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos que está siendo diseñada por el ININ. El modelo de atenuación exponencial doble fue elegido en este estudio y su aplicación sugiere que la cantidad de desechos radiactivos que recibirá el DR disminuirá en un 14% en los próximos 10 años y que la cantidad de los desechos radiactivos de líquidos acuosos y sólidos compactables será el doble de los desechos radiactivos de líquidos orgánicos y sólidos no compactables respectivamente. Este análisis deberá ser complementado con el del tipo de radioisótopos contenidos en cada desechos radiactivo, a fin de definir con mayor detalle la capacidad de los equipos, instalaciones y proceso en la nueva planta de tratamiento de desechos radiactivos.

4. AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Fis. Javier Reyes Luján por la revisión y observaciones hechas a este trabajo.

5. REFERENCIAS

[HAN-96] Hanke, J.E., Reitsch, A.G. Pronósticos en los negocios. 5° ed. Pearson, México, 1996.

[ILU-00] Origen y Gestión de residuos radiactivos. Ilustre Colegio Oficial de Físicos. España, 2000.

[IT-08] IT.DR(NP)-03-08.DOC. Ingeniería conceptual de la nueva PATRADER II. Información de Desechos Radiactivos. Gerencia Seguridad Radiológica, ININ, México, 2008/09.

MEMORIAS

Sección Química Nuclear

44° Congreso Mexicano de Química
28° Congreso Nacional de Educación Química
26 al 30 de septiembre de 2009, Puebla, México

[Liz-09] Lizcano Cabrera, D. Inventario de envases con desechos sólidos, líquidos y material contaminado. 30 marzo 2009. ININ. Depto. Desechos Radiactivos.

[Liz-08] Lizcano Cabrera, D. Inventario de fuentes radiactivas selladas en resguardo definitivo. 11 Septiembre 2008, ININ. Depto. Desechos Radiactivos.

[Liz-1/08] Lizcano Cabrea, D., Jiménez Domínguez, J. Informe anual de actividades relevantes de protección radiológica de la PATRADER. Gerencia de Seguridad Radiológica. IT.DR(PATRADER)-1/08 ININ. Depto. Desechos Radiactivos.

[MON-08] Monroy-Guzmán, F., Emeterio Hernández, M, Jiménez Domínguez, J. Gestión de Desechos Radiactivos. Actividad Científica y Tecnológica en el ININ. Ed. L. Escobar Alarcón, F. Monroy-Guzmán, P. Morales Ramírez, S. Romero Hernández.

[MUJ-06] Mujica, F.J., Concepto y aplicación de la prospectiva estratégica. Revista Med. 14(1), 122-131, 2006.

[NOM-01] Requerimientos para instalaciones de tratamiento y acondicionamiento de los desechos radiactivos. Norma Oficial Mexicana, NOM-036-NUCL-2001.

[TRS-402] Technical Reports Series No. 402. Handling and Processing of Radiative Waste from Nuclear Applications. IAEA, Vienna, 2001.

[WIL-07] Wilson, J.H., Keating, B. Pronósticos en los negocios. 5° ed. McGrawHill, India, 2007.