

Análisis de sistemas para la gestión de desechos radiactivos

Panorama general del marco de adopción de decisiones para los desechos de actividad baja y media

por William L. Lennemann

La gestión de desechos radiactivos puede considerarse como la barrera entre los usos de la energía nuclear y los efectos nocivos que pueden tener los desechos radiactivos generados sobre el hombre y su medio ambiente. Entre los diversos conocimientos o disciplinas que se requieren para la gestión y evacuación bien pensadas y aceptables de los desechos radiactivos figura la competencia técnica en esferas como ingeniería, química, biología, ciencias geológicas, física sanitaria, análisis de costos-beneficios y riesgos-beneficios, economía o eficacia en función de los costos, valoraciones de la factibilidad y de los efectos ambientales, y análisis de sistemas, así como un buen conocimiento de las comunicaciones y las relaciones públicas, y comprensión de los procesos políticos y de los climas social y político.

Un solo individuo no puede dominar todos los conocimientos ni todas las disciplinas. Por eso, la gestión de desechos radiactivos debe ser una labor colectiva.

Actualmente, el público suele prestar escasa atención a la economía, la eficacia en función de los costos y los riesgos-beneficios en la gestión de desechos radiactivos. Se hace lo que hay que hacer debido a las presiones políticas y sociales. En todos los países, la gestión y evacuación de desechos radiactivos ha pasado a ser objeto de control y vigilancia políticos y de regulación burocrática, lo que determina que, en ocasiones, las decisiones estén más influidas por las presiones sociales que por los requisitos técnicos. No obstante, es responsabilidad de quienes administran los desechos radiactivos presentar la eficacia en función de los costos y los riesgos-beneficios de diversas opciones y sistemas para la manipulación de desechos radiactivos a los encargados de adoptar decisiones y formular políticas, a fin de que se den cuenta de las consecuencias de sus decisiones, cualesquiera que éstas sean.

La selección del proceso o del equipo para la gestión de desechos radiactivos no debe basarse exclusivamente en el criterio del vendedor o en que, como suele decirse, el cliente vea bien lo que compra. Alguien que genere o procese desechos radiactivos debe contar con los conocimientos especializados de expertos propios competentes en gestión de desechos radiactivos, o

procurarse el asesoramiento de expertos independientes idóneos e imparciales. La industria nuclear ha gastado decenas de millones de dólares innecesariamente por no tener en cuenta este precepto.

El enfoque más lógico para evaluar los procesos de gestión de desechos radiactivos y sus opciones es considerar la manipulación y la evacuación de esos desechos como un sistema completo y complejo desde el origen (o generación) de los mismos hasta su evacuación. El sistema puede compartimentarse o dividirse lógicamente en sus componentes operacionales. Lo que se hace en un componente del sistema puede imponer limitaciones o dar flexibilidad a uno o más de los otros componentes.

Sistema de gestión de desechos radiactivos

Desde el punto de vista físico, los desechos radiactivos pueden clasificarse, para su tratamiento y embalaje, en las cinco categorías generales siguientes*:

- Líquidos, incluidos los lodos acuosos
- Sólidos húmedos, incluidos los lodos espesos
- Sólidos secos
- Desperdicios comprimibles
- Gases

Los radionucleidos que causan aprensión actualmente son el criptón 85, el carbono 14, el hidrógeno 3 (tritio) y el yodo 129. Por lo general, estos radionucleidos gaseosos se liberan y son diluidos por los procesos atmosféricos. Su captura y evacuación aceptable en forma gaseosa se prestan a controversia. Por otra parte, desde el punto de vista técnico es posible capturar estos radionucleidos gaseosos y convertirlos en formas sólidas que puedan ser más aceptables para la evacuación. En consecuencia, se supone que así debe procederse cuando sea necesario capturarlos y confinarlos.

Cada componente de un sistema de gestión de desechos radiactivos presenta dos o más opciones, y es preciso tomar decisiones acerca de los objetivos, la tecnología y los criterios que puedan afectar a lo que se hace o lo que se hará; a saber, a otras decisiones con respecto a las opciones ofrecidas por los otros componentes del sistema. Por ejemplo, la selección del lugar de evacuación o del método de evacuación, o de ambos,

Actualmente el Sr. Lennemann está asociado a la Science Applications International Corporation de McLean, Virginia, Estados Unidos. Fue Jefe de la Sección de Gestión de Desechos del OIEA y también ha pronunciado conferencias sobre gestión de desechos radiactivos en países en desarrollo en calidad de experto del Organismo. Su artículo es una sinopsis en que se condensa lo esencial de una conferencia de dos horas.

* En este artículo, el término "desecho radiactivo" significa un desecho de esta naturaleza, de actividad baja o media, o intermedia, que contiene niveles insignificantes de radionucleidos transuránicos de período largo. Algunos países han fijado también niveles restrictivos para los productos de fisión y activación de período largo. A efectos de definición, período largo es el que excede de 50 años.

puede influir significativamente en el tratamiento o el embalaje de los desechos, y viceversa.

Para fines de análisis e ilustración, los componentes de un sistema de gestión de desechos radiactivos pueden denominarse "lugares de decisión". De ser posible, en el proceso de adopción de decisiones relativas a la gestión de desechos radiactivos se deberían estudiar y examinar los efectos de una decisión sobre todos los componentes del sistema y no limitarse principalmente al componente de que se trate y quizás a uno o dos más. (Véanse las figuras adjuntas.)

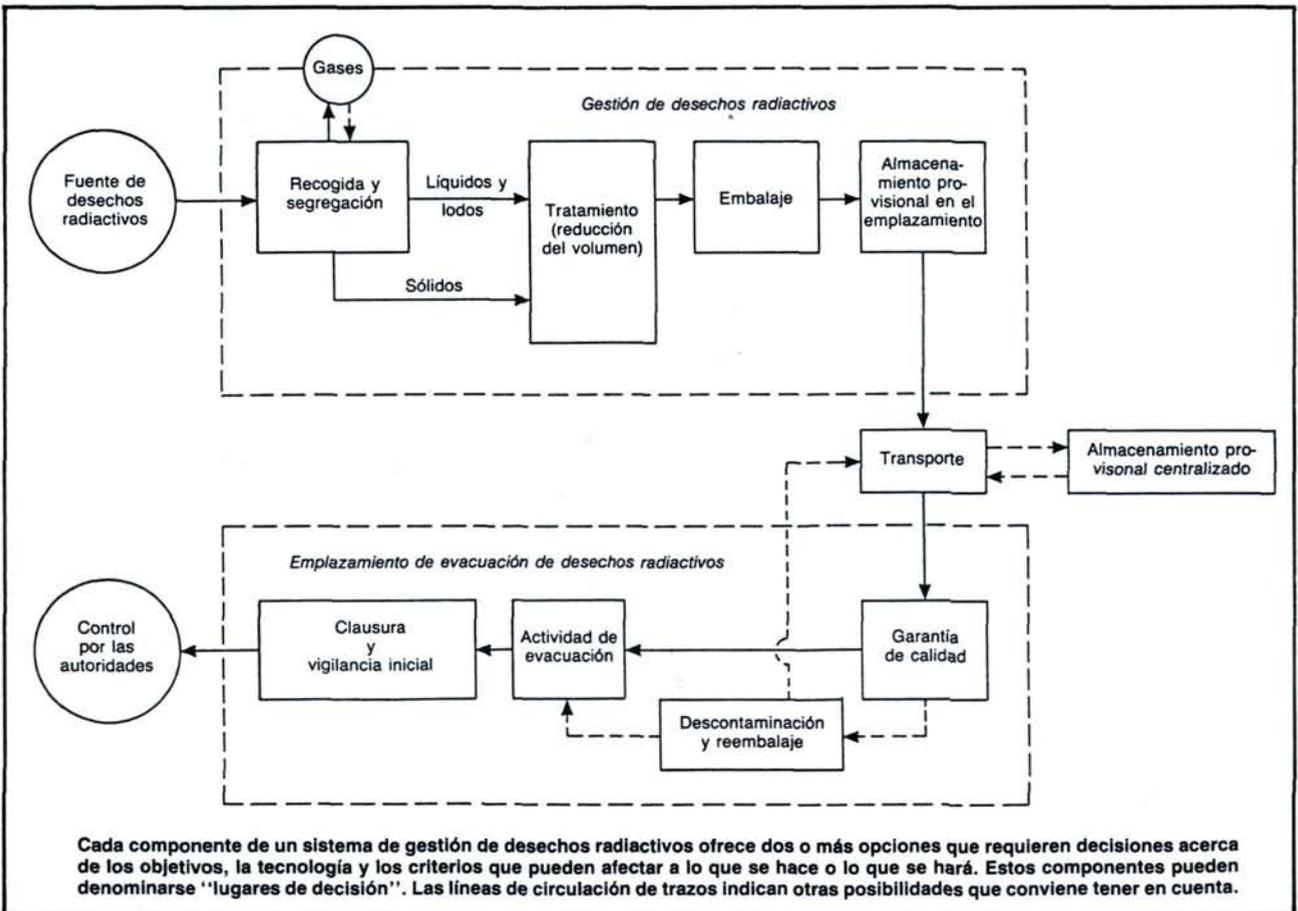
Una decisión algo obvia, pero que suele pasarse por alto, es la relativa a una normalización temprana de los bultos con desechos. Un bulto con desechos comprende el contenido y la contención o contenedor. Los beneficios de la normalización del tratamiento y las formas de desechos radiactivos pueden depender de la situación local o nacional, o de ambas, en el momento dado. Por otra parte, son evidentes los beneficios que se pueden obtener desde el punto de vista de la manipulación, el transporte y la evacuación de los bultos de desechos normalizando los tamaños, formas y medios auxiliares para el manejo de los contenedores. El disponer de varios bultos normalizados, en lo esencial atendiendo a la forma de desecho y a su riesgo radiológico, también facilita la formación de lotes de múltiples bultos idénticos en un contenedor o estructura más grande para su manipulación y evacuación uniformes.

Opciones de gestión

Actualmente existen opciones para los diversos componentes o elementos de un sistema de gestión de desechos radiactivos. La reducción del volumen de los desechos entraña básicamente la eliminación de los componentes que no son radiativos —a saber, el agua, el aire y los combustibles orgánicos. Generalmente el embalaje supone la estabilización de una forma líquida o sólida de desecho en una matriz sólida. En cambio, si los radionucleidos y los desechos sólidos no son fácilmente dispersables, o si los radionucleidos están intrínsecamente bien contenidos dentro de la propia forma de desecho (por ejemplo, una matriz metálica en la que está fijada la radiactividad inducida) quizás el embalaje sea innecesario.

El proceso de adopción de decisiones supone decisiones de gestión con respecto a las opciones, las tecnologías o la combinación de ambas, que se han de adoptar para cada componente del sistema de gestión de desechos. Por consiguiente, debe examinarse todo el sistema para determinar en qué medida una decisión concerniente a una parte del sistema es compatible con los demás componentes, incluidos los efectos nocivos y beneficiosos de cualquier ajuste que sea preciso hacer en el sistema como resultado de la decisión.

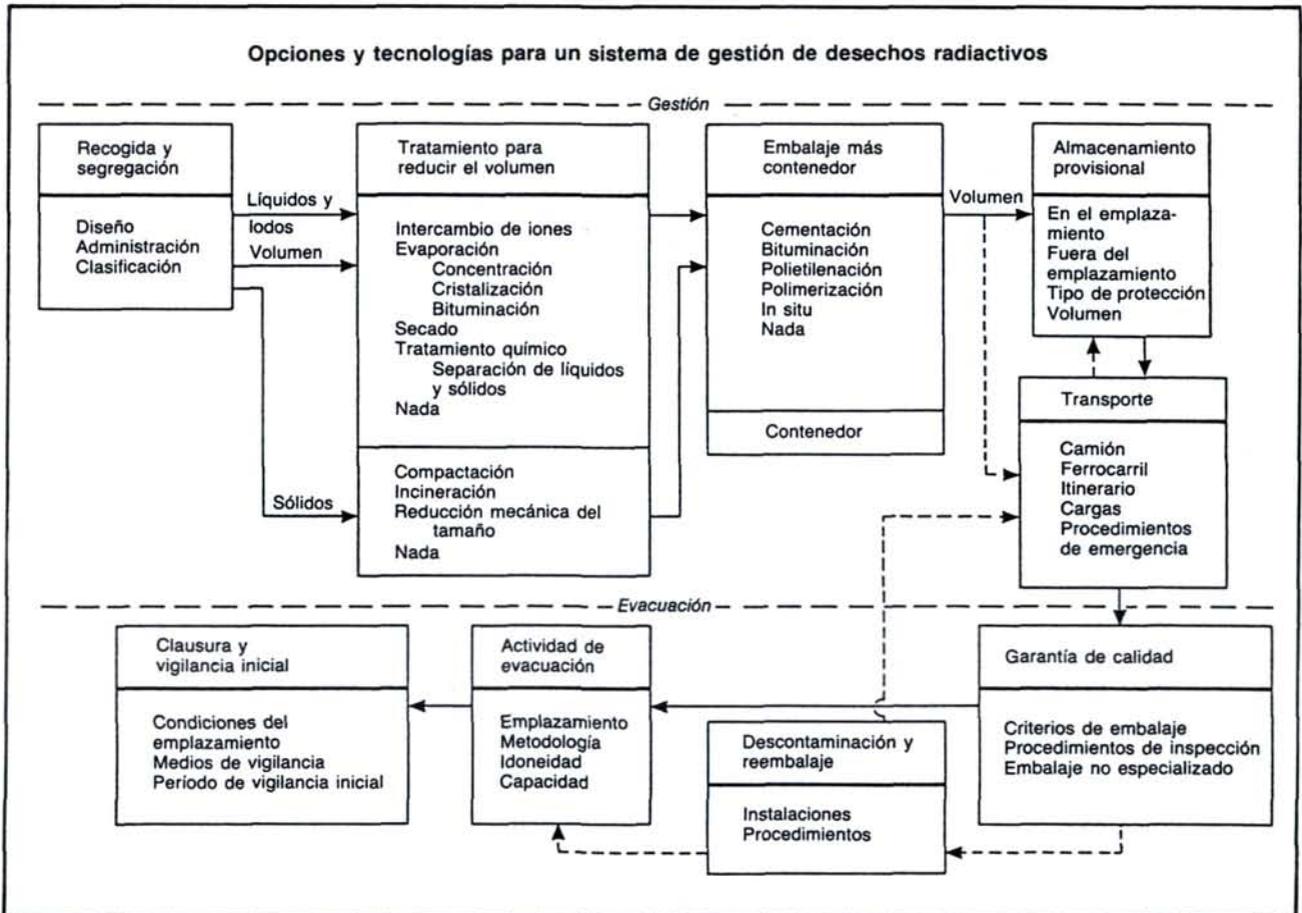
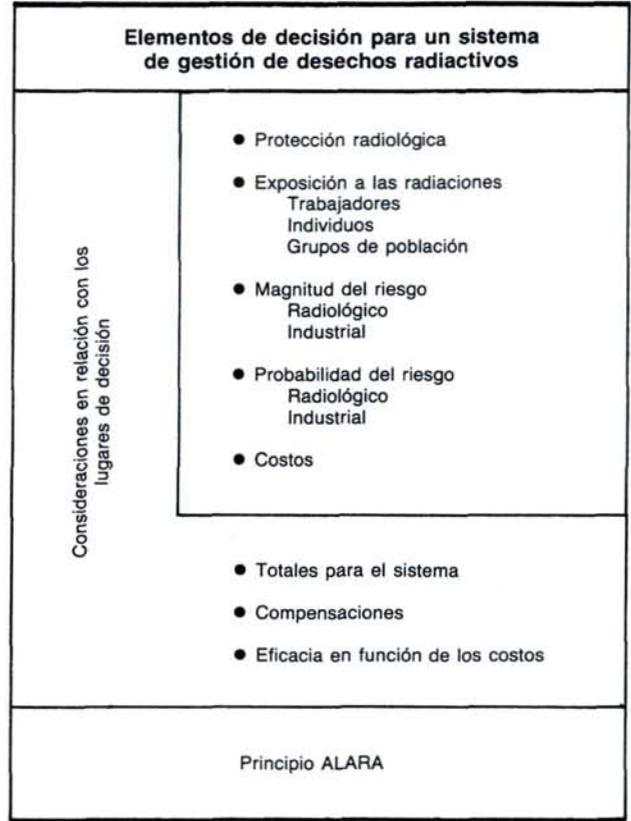
Mediante el análisis de sistemas, es posible optimizar los volúmenes y la manipulación de los desechos radiactivos embalados en relación con los costos y los



efectos nocivos, tales como los riesgos y las exposiciones radiológicas. Un ejemplo sencillo es la segregación de los desechos radiactivos de los no radiactivos, o la segregación de los desechos radiactivos en varios grupos, ya sea atamiento o su evacuación, la cual, en algunos casos, puede considerarse una forma de reducir el volumen. Deben compararse las posibles ventajas de esta segregación con las desventajas conexas, que incluirían los costos de segregación y los riesgos derivados de las operaciones correspondientes. (Véase la figura inferior.)

Optimización del sistema

Los principales elementos que deben considerarse o tenerse en cuenta al adoptar una decisión relativa a uno o más componentes de un sistema de gestión de desechos radiactivos guardan básicamente relación con las dosis de radiación y/o los detrimentos —la seguridad radiológica e industrial (peligros y riesgos) y con las inversiones de capital y los gastos de explotación. (Véase el cuadro adjunto.) La evaluación de los detrimentos, la seguridad general y los costos que acarrearía el funcionamiento del sistema con arreglo a un conjunto dado de decisiones u opciones, en comparación con los resultados que se obtendrían aplicando otro u otros conjuntos de decisiones, puede efectuarse totalizando los elementos del sistema dado —adoptando una base de



evaluación común o las unidades de un método de clasificación con los ajustes que procedan. De esta forma es posible llegar a un sistema de gestión de desechos radiactivos optimizado para alcanzar los objetivos que se desean.

Las compensaciones forman parte de la optimización de un sistema; a saber, la posibilidad de mejorar el funcionamiento y las ventajas de un sistema atenuando los objetivos de uno o más de los otros componentes. En otras palabras, ¿en qué parte de un sistema puede invertirse mejor el dinero para obtener el máximo beneficio general? Por ejemplo, tal vez sería más prudente que el dinero invertido para reducir la exposición individual a las radiaciones en el sistema de gestión de desechos radiactivos se invirtiera en la reducción de un elemento de riesgo.

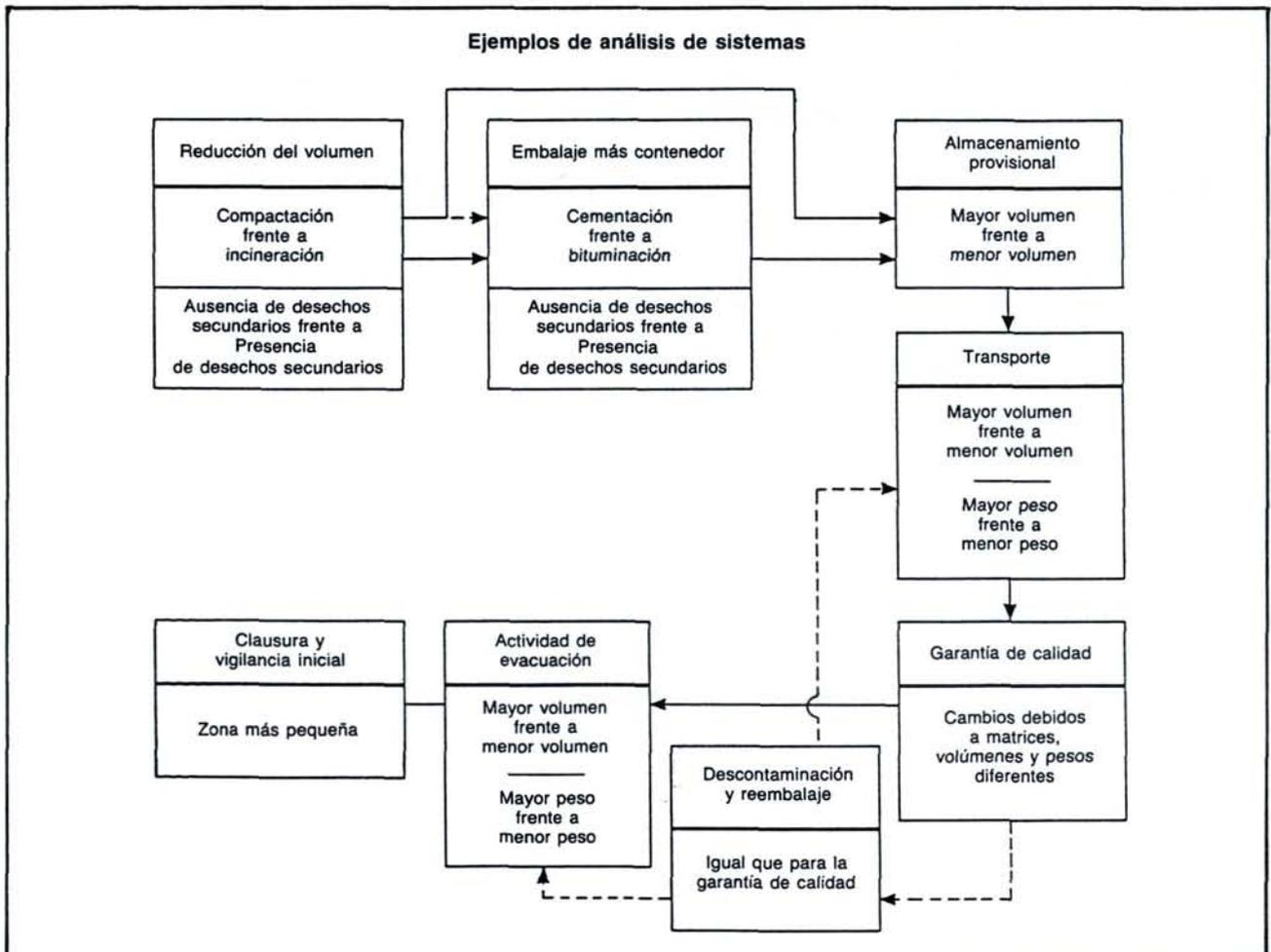
El dinero es un recurso, tanto en las empresas privadas como en las nacionales. La eficacia en función de los costos entraña decidir si un gasto o una economía determinados valen la pena, o si la inversión del dinero de otra forma podría dar por resultado mayores beneficios privados o públicos. Por ejemplo, quizás el dinero invertido en reducir los niveles de exposición de grupos de la población a las radiaciones podría gastarse más eficazmente en la investigación médica (en relación con el cáncer, digamos), o para mitigar otros riesgos que se traducen en graves efectos para la salud de grupos de la población. En efecto, cabe presumir que el valor de una vida humana en un país es el mismo, independien-

temente de la causa de la enfermedad debilitadora o la muerte.

En los países de economías con recursos financieros limitados, los gastos que se efectúan para proteger la salud de grupos de la población deben estar dirigidos a aquellos aspectos en que reporten mayores beneficios, pese a la exposición radiológica, pero sin perderla de vista. Asimismo, podría obtenerse una reducción mayor de los niveles de exposición radiológica invirtiendo la misma cantidad de dinero en otro componente del sistema de gestión de desechos radiactivos o incluso en algún otro elemento del programa de energía nuclear. El principio ALARA de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) permite cierta flexibilidad en cuanto a los objetivos en materia de exposición a las radiaciones, ya que las consideraciones sociales y económicas que deben tener en cuenta las autoridades reglamentadoras pueden variar considerablemente de un país a otro, y pueden ajustarse según las circunstancias o la situación*.

En el diagrama adjunto se muestran algunas consideraciones que intervienen en los análisis de sistemas respectivos de dos ejemplos de técnicas opuestas para la reducción del volumen de los desechos. Los dos ejemplos son:

* ALARA significa "el valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse", teniendo en cuenta consideraciones sociales y económicas.



Comparación de las técnicas de reducción del volumen

<i>Cementación Compactación</i>	<i>frente a frente a</i>	<i>Bituminación* Incineración**</i>
-------------------------------------	------------------------------	---

Factores positivos obvios

- Reduce los volúmenes por unidad
- Reduce las necesidades de almacenamiento
- Reduce las necesidades de transporte
- Reduce la zona de evacuación necesaria
- El betún es más resistente al agua

Factores negativos obvios

- Proceso más complicado
- Mayor gasto de capital
- Mayor gasto de explotación
- Mayor costo por unidad con referencia al volumen
- Menos blindaje
- Mayor radiación
- Corrientes de desechos secundarios
- Leve riesgo de incendio

Algunas consideraciones acerca de las compensaciones

- El valor del terreno economizado es mayor que el costo adicional
- Riesgos de reducción del volumen frente a riesgos del proceso de referencia
- Exposiciones radiológicas por reducción del volumen frente a exposiciones radiológicas por el proceso de referencia

* Para lodos acuosos y fondos de evaporadores.
 ** Para desechos sólidos combustibles.

- La cementación frente a la bituminación en el caso de lodos acuosos y fondos de evaporadores;
- La compactación frente a la incineración en el caso de desechos sólidos combustibles.

Si bien los desechos compactados ya se encuentran embalados, las cenizas de los incineradores pueden dispersarse con facilidad y probablemente habría que inmovilizarlas y embalarlas mediante cementación o bituminación. Las consideraciones principales en relación con los efectos son las reducciones de volumen y peso y los desechos radiactivos secundarios resultantes de las operaciones de reducción del volumen. Estos efectos se pueden traducir en exposiciones, riesgos y costos de análisis de sistemas.

En el cuadro adjunto se resumen algunas ventajas y desventajas obvias (factores positivos y negativos) de la bituminación frente a la cementación y de la incineración frente a la compactación, que deben tenerse en cuenta en un análisis de sistemas. Existen, sin duda, otras posibles ventajas y desventajas, pero las indicadas bastan a modo de ejemplo y en aras de la brevedad. Los factores positivos y negativos son más o menos los mismos para la bituminación y la incineración, salvo que el betún es más resistente al agua que el cemento o el hormigón.

El cuadro indica además algunas compensaciones que conviene tener en cuenta cuando se trata de alcanzar una disminución del volumen de desechos que se ha de evacuar. Desde el punto de vista de la eficacia en función de los costos, cabría formularse las siguientes preguntas: 1) ¿Hasta qué punto el costo adicional debido a la reducción del volumen es compensado por las economías en los gastos de manipulación, transporte y evacuación, más el valor del terreno que ya no se necesita para la evacuación subterránea de los desechos embalados?, y 2) ¿En qué otro sector de la energía nuclear podría aprovecharse mejor ese costo adicional, por ejemplo, en el de capacitación, o en el mejoramiento de carreteras y otros medios de transporte a fin de aumentar la seguridad del transportes materiales

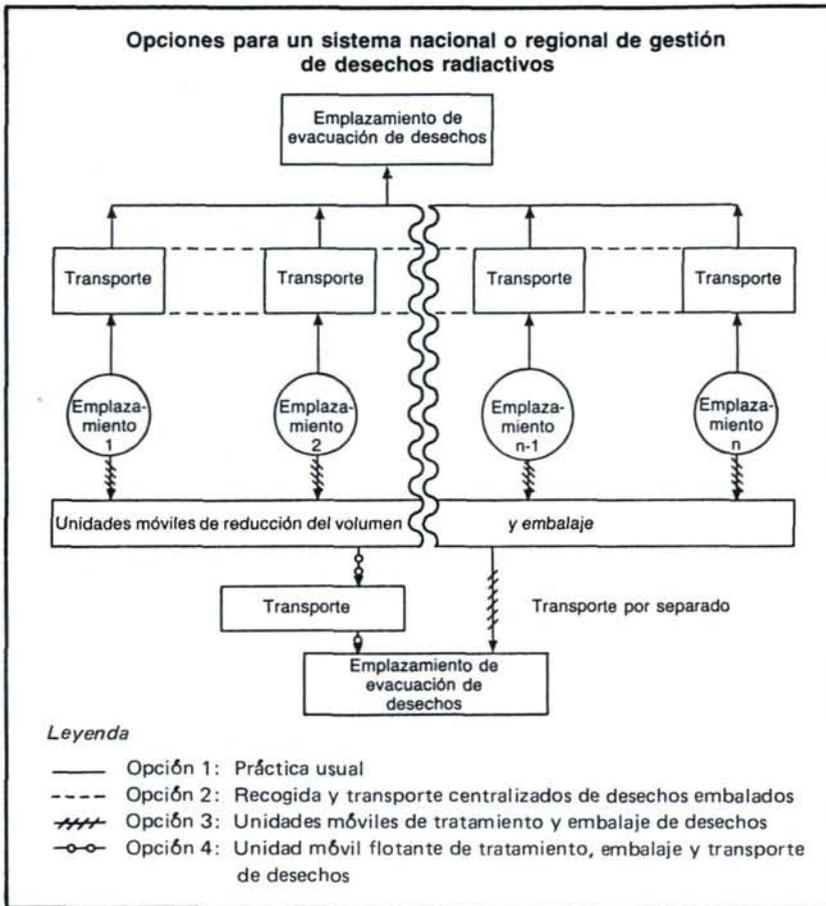
nucleares, incluidos los desechos radiactivos, o quizás para un mayor beneficio nacional (por ejemplo, investigación y desarrollo, construcción de instalaciones médicas, recuperación de tierras para la agricultura o viviendas públicas)?

Sistemas opcionales

De las opciones que cabría considerar para un sistema nacional o regional de gestión de desechos radiactivos, se suele seleccionar el que prevé que cada central nuclear u otro generador de desechos disponga lo necesario para el transporte de los desechos embalados hasta un lugar de evacuación nacional o regional, por ejemplo, un lugar de evacuación subterránea.

Una segunda opción que probablemente ahorraría gastos, trabajos de gestión y riesgos sería que un consorcio de compañías eléctricas (quizás también de otras que estuvieran autorizadas para poseer y manipular materiales nucleares) estableciera una organización de propiedad conjunta o una cooperativa para la manipulación y el transporte de los desechos radiactivos embalados hasta el lugar de enterramiento nacional o regional, o disponer de un organismo oficial de recogida de desechos que prestara ese servicio.

Una tercera opción es que las centrales nucleares estén dotadas de instalaciones de almacenamiento provisional de sus fondos de evaporadores, resinas de intercambio de iones, desechos compactables y combustibles, etc., que serían tratados y embalados periódicamente por unidades móviles. Esta opción permitiría hacer economías al evitar la duplicación de costosas instalaciones de tratamiento y embalaje de desechos radiactivos en cada emplazamiento, que por lo general sólo se usan periódicamente, aparte de la eliminación de la capacitación, el personal y las molestias derivadas funcionamiento periódico en cada emplazamiento. También anularía el elemento de riesgo adicional inherente al funcionamiento de varias instalaciones (en este caso,



el tratamiento de los desechos y su embalaje) para el mismo fin. En otras palabras, probablemente sería una opción más segura. Podría ser especialmente atractiva en los casos en que las centrales nucleares estén situadas a la orilla del mar o junto a una vía navegable y tengan acceso a una gran instalación flotante de gestión de desechos radiactivos.

Una cuarta opción es la ampliación de la tercera opción de manera que la instalación flotante de gestión de desechos, dotada de medios para el almacenamiento provisional de desechos radiactivos embalados, los entregaría periódicamente a un lugar de evacuación al que se presume que tendría fácil acceso. Una unidad terrestre móvil de gestión de desechos no podría realizar la cuarta opción por razones obvias.



El Sr. N.I. Ryzhkov, Presidente del Consejo de Ministros de la URSS (izquierda), con el Dr. Blix en Moscú. (Foto: APN, Moscú)

