

# Gestión inocua de desechos radiactivos

*Celso Vargas\**

## *1. Introducción*

**L**a gestión ambientalmente inocua de desechos radiactivos presenta importantes problemas en este momento. Como es bien conocido la energía nuclear se utiliza tanto en la construcción de armas nucleares y otros aspectos relacionados con armamentos, como en la generación de energía eléctrica, en la salud, en la industria, etc., esto es, en lo que se conoce como usos pacíficos de la tecnología nuclear.

Las relaciones entre usos pacíficos y usos bélicos de la energía nuclear son complejos en lo que respecta al establecimiento de normas internacionales para controlar el destino de los materiales radiactivos, sobre todo en el contexto de la legislación internacional existente de respeto a la autonomía de los países, y en la determinación de la institución o instituciones sobre las que recaerían las salvaguardias de materiales nucleares y las posibilidades de desempeñar su función.

En cuanto a la gestión de los desechos, las relaciones entre usos pacíficos y bélicos son también complejas y difíciles de reglamentar internacionalmente.

Sin embargo, se están haciendo importantes esfuerzos por tipificar, ayudar e imponer medidas internacionales en pro de un tratamiento ambientalmente inocuo de los desechos radiactivos.

En este artículo nos restringiremos a los usos pacíficos y a las políticas de gestión de los desechos radiactivos que están siendo impulsadas por el Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA) y los países que lo conforman, así como por otras organizaciones nacionales e internacionales.

Los desechos radiactivos generados en el contexto de la carrera armamentista son considerables pero difíciles de reglamentar internacionalmente.

## *2. El problema de la gestión de desechos*

La gestión inocua de los desechos radiactivos plantea varios tipos de problemas. El primero de ellos es la diversidad de isótopos radiactivos utilizados con fines pacíficos.

Están, en primer lugar, los desechos como resultado de accidentes nucleares. En segundo lugar, los desechos generados en el ciclo del combustible nuclear que incluye los reactores para generación eléctrica y para investigación. Finalmente, los desechos generados en las aplicaciones médicas, industriales, de investigación y campos relacionados con las aplicaciones. Cada uno de estos aspectos presenta problemas importantes, y quisiera referirme a ellos brevemente.

\* *Instituto  
Tecnológico de  
Costa Rica*

## 2.1 Generación de desechos por accidentes nucleares

Cada día los accidentes nucleares son menos numerosos. Se están tomando medidas importantes en el ámbito internacional para reducir la posibilidad de accidentes con materiales radiactivos. Sin embargo, la probabilidad de estos accidentes siempre es mayor que cero y deben ser tomados en consideración en lo relacionado con la generación de los desechos radiactivos, por sus características tan particulares.

Casos bien documentados, como el de Brasil, en 1987, en el que una fuente sellada con Cesio 137 de alta radiactividad fue sustraída de una clínica abandonada en Goiania (Paschoa y otros 1993), muestran aspectos importantes sobre desechos. En este caso la fuente fue posteriormente abierta, y fragmentos de Cesio 137 del tamaño de un grano de arroz fueron dispersados por varios lugares de la ciudad de Goiania.

La fuente contenía unos 24 centímetros cúbicos de material radiactivo. Se considera que en el momento del accidente, la actividad de la fuente era de unos 50,9 terabecquerelios (TBq), donde un becquerelio es aproximadamente el equivalente a una transformación por segundo del material radiactivo.

Los resultados de la dispersión de este material permiten estimar las consecuencias que puede causar la liberación en el medio de cantidades pequeñas de material de alta radiactividad.

Por un lado, "en el trabajo de descontaminación fue preciso demoler siete viviendas y algunos otros edificios, así como extraer la capa vegetal de grandes extensiones de tierra. En total se generaron aproximadamente 3500 metros cúbicos de desechos radiactivos". Por el otro, "el total de los desechos radiactivos que generó [la fuente] después de su ruptura fue 150 000 veces mayor que su volumen inicial y alcanzó una actividad general que osciló entre 47 y 49,6 TBq" (Paschoa y otros 1993: 28-30).

El tratamiento de los desechos radiactivos generados fue bastante complejo. Por un lado, involucró la construcción de repositorios para estos materiales que resultó bastante cara: 6 estructuras de hormigón cada una de 60 por 18 metros, para albergar un total de 1534 metros cúbicos de materiales radiactivos. Por otro lado, involucró un trabajo muy detallado de clasificación de desechos según concentración de radiactividad y tiempo de desintegración. De hecho, en Goiania se establecieron cinco categorías para clasificar los materiales, que se describen en el Cuadro 1.

**Cuadro 1.** Desechos radiactivos de Cesio 137 depositados provisionalmente en Abadía de Goiás. Fuente: Paschoa y otros (1993).

Grupo de Desechos	Volumen Metros cúbicos total	Porcentaje del volumen	Concentración Media (kilobecquerelio por kilogramo)	Tiempo Desintegración (años)
5	51	1,5	$3,21 \times 10^5$	356
4	429	12,8	$1,43 \times 10^4$	221
3	578	17,2	$1,45 \times 10^3$	122
2	769	22,9	$3,2 \times 10^2$	57
1	1534	45,6	26,9	0

Así pues, aunque los accidentes con materiales radiactivos tienden a reducirse a cero, su posibilidad debe considerarse como un factor importante de generación de desechos radiactivos y con costos muy elevados.

## 2.2. Generación de desechos de reactores de generación eléctrica y de investigación

Desde el punto de vista de contaminación por radionucleidos, los desechos provenientes de reactores de investigación y generación eléctrica, son los más altos. De acuerdo con las estimaciones presentadas en la **Agenda 21 de las Naciones Unidas**, el 99% de los radionucleidos provienen de esta fuente. Únicamente el 1% de los radionucleidos de los desechos radiactivos provienen de las aplicaciones. Sin embargo, estos datos sólo toman en consideración la contaminación por radionucleidos, no otro tipo de contaminación que puede estar relacionada con el uso de la tecnología nuclear. Aun así, el criterio basado en radionucleidos es la característica sobresaliente. En cuando a los volúmenes estimados de desechos provenientes de los reactores nucleares, se presenta a continuación una proyección de desechos acumulativos hasta el 2005, según las proyecciones del OIEA, y su comparación con respecto al material reciclado.

La disposición de estos desechos presenta problemas importantes, y ha ocasionado una crisis en varios de los países, principalmente en lo relacionado con los reactores de investigación. Sin embargo, existen varias opciones de almacenamiento de estos desechos.

En general se clasifican en dos categorías: la primera denominada "ciclo del combustible abierto", en el cual el combustible gastado no se vuelve a utilizar, sino que se almacena como desecho. La segunda opción se denomina "ciclo del combustible cerrado" y se conocen dos opciones principales:

- a. Ciclo del reactor término en el que se "reelabora el combustible gastado, y el uranio y el plutonio se separan de los productos de fisión. Tanto el uranio como el plutonio se pueden reciclar en nuevos elementos combustibles. También es posible reciclar solamente el uranio y almacenar el plutonio y viceversa" (Boletín del OIEA 3 (1993)).
- b. Ciclo del reactor reproductor rápido. Hace el proceso del reactor anterior, pero en reproductores rápidos "los cuales poseen un núcleo central de combustible de uranio/plutonio rodeado por una capa de uranio empobrecido, o en reactores quemadores" (Boletín del OIEA 3 (1993)).

**Cuadro 2.** Cantidades acumuladas de combustible gastado provenientes de centrales nucleares, en toneladas de material pesado. Fuente: Boletín OIEA (1993)

Año	Combustible reciclado acum.	Acum. Combustible gastado
1990	47 000 ton	125 000 ton
1995	70 000 ton	175 000 ton
2000	85 000 ton	225 000 ton
2005	110 000 ton	275 000 ton

Consideraciones económicas son importantes en este momento, y dividen a los sectores involucrados en estos procesos. Sin embargo, las consideraciones ambientales están adquiriendo cada vez más importancia, y con ello, los reactores de reproducción rápida. El mejoramiento de estos reactores, contribuirá a reducir las cantidades tan grandes de este tipo de desechos.

### 2.3. Generación de desechos en las aplicaciones

El área de las aplicaciones es, quizá, el campo en el que más isótopos radiactivos diferentes están involucrados. Los cuadros 3, 4 y 5 muestran los principales isótopos radiactivos utilizados en la industria, en la medicina y en la investigación, con sus respectivas actividades. Las unidades para establecer la actividad de las fuentes son las siguientes:

TBq = terabecquerelios,  
 PBq = Pentabecquerelios,  
 GBq = Gigabecquerelios y  
 MBq = Megabecquerelios

Por otro lado, son las áreas en las que menos desechos radiactivos se generan, y en las que la contaminación por

radionucleidos es más baja, esto debido principalmente a los siguientes factores:

1. La vida útil de los materiales utilizados en las aplicaciones es bastante alta, con lo cual, la contaminación es relativamente baja.
2. Muchos de los radioisótopos tienen una vida media bastante alta, lo que hace innecesario el estar restituyendo la fuente.
3. Los procesos de irradiación no involucran procesos de reacción en cadena o de fisión, sino que el peligro de estos desechos estriba principalmente, en la capacidad que estos materiales tienen de emitir radiaciones de manera intrínseca.

Ahora bien, en relación con las cantidades de desechos se estima que se generan anualmente sólo unas cuantas decenas de metros cúbicos a nivel mundial. Esta situación contrasta fuertemente con 200000 metros cúbicos anuales generados en las áreas que no son de las aplicaciones.

Sin embargo, la utilización de materiales radiactivos en las aplicaciones se incrementa año con año, lo que hace necesario que se tomen medidas mundiales a fin de reducir los riesgos y la contaminación por desechos.

**Cuadro 3.** Fuentes de radiación en la medicina. Fuente: OIEA (1994).

Aplicación	Radionucleidos	Actividad de la Fuente
Braquiterapia	Cesio 137	50-500 MBq
	Radio 226	30-300 MBq
	Cobalto 60	50-500 MBq
	Estroncio 90	50-1500 MBq
Braquiterapia a Distancia con carga retardada	Cobalto 60	unos 10 GBq
	Cesio 137	0,03-10 MBq
	Iridio 192	unos 400 GBq
Teleterapia	Cobalto 60	50-1000 TBq
	Cesio 137	500 TBq

**Cuadro 4.** Fuentes de radiación en las investigaciones. Fuente: OIEA (1994).

Aplicación	Radionucleidos	Actividad de la Fuente
Fuentes de calibración	Muchos y diferentes	menos de 0,1 GBq
Instalaciones de calibración	Cesio 137	menos de 100 TBq
	Cobalto 60	menos de 100 TBq
	Californio 252	menos de 10 GBq
Irradiadores	Cobalto 60	menos de 1000 TBq
	Cesio 137	menos de 1000 TBq

**Cuadro 5.** Fuentes de radiación en la industria. Fuente: OIEA (1994).

Aplicación	Radionucleidos	Actividad de la Fuente
Radiografía industrial	Iridio 192	0,1-5 TBq
	Cobalto 60	0,1-5 TBq
Diagrafía de Pozos	Americio 241/Berilio	1-800 GBq
	Cesio 137	1-100 GBq
Higroscopio	Americio 241/Berilio	0,1-2 GBq
Sonda de transportador	Cesio 137	0,1-40 GBq
Sonda de densidad	Cesio 137	1-20 GBq
	Americio 241	1-10 GBq
Sonda de espesor	Criptón 85	0,1-5 GBq
	Estroncio 90	0,1-4 GBq
Eliminadores estáticos	Emericio 241	1-4 GBq
	Polonio 210	1-4 GBq
Pararrayos	Americio 241	50-500 MBq
Esterilización y conservación de Alimentos	Cobalto 60	0,1-400 PBq
	Cesio 137	0,1-400 PBq
Instalaciones de calibración	Cobalto 60	1-100 TBq
	Cesio 137	1-100 TBq

### *3. Medidas internacionales para la gestión de desechos radiactivos*

El Programa 21 de las Naciones Unidas propone una serie de actividades de

gestión de desechos radiactivos que fueron acordadas y firmadas por los países asistentes a la reunión de Río en 1992. Estas actividades incluyen:

1. Medidas para reducir y limitar la generación de desechos radiactivos,

así como la implantación de formas de tratamiento ambientalmente inocuas, y principios aceptables en el contexto de los cuales se deben tomar las medidas de eliminación y reducción.

2. Establecimiento de normas y directrices por parte del OIEA para la gestión y eliminación de desechos radiactivos
3. Mecanismos para almacenamiento, transporte y eliminación de desechos radiactivos de acuerdo con las características de los materiales
4. Planeamiento, evaluación, procedimientos de emergencia y eliminación antes y después de la generación de desechos radiactivos.

En este sentido, el OIEA ha iniciado estudios con el fin de tipificar y asesorar a los países miembros del organismo en actividades de gestión de desechos radiactivos. Las actividades de gestión de desechos se están conceptualizando en el marco del conjunto de principios que se describen en el cuadro 6. Entre las actividades de gestión de desechos radiactivos que se están adoptando, se incluyen las siguientes:

1. Creación de bases de datos y asesoramiento a los países miembros del OIEA y a aquellos otros países que lo soliciten. Tanto las bases de datos como el asesoramiento parten de una clasificación de los países que depende del tipo de actividades nucleares que realicen. En este sentido, se ha establecido una clasificación en 5 tipos de países, desde aquellos que sólo utilizan materiales radiactivos en el área de las aplicaciones, es decir, que no producen materiales radiactivos ni tienen centrales nucleares, ni actividades relacionadas con el ciclo del combustible nuclear, hasta aquellos países que sí poseen estas actividades.
2. Creación de un conjunto de instrumentos y paquetes

estandarizados que contienen información sobre los siguientes aspectos:

- a. Registro de fuentes de radiación selladas
  - b. Diseño de instalaciones para fuentes de radiación selladas gastadas
  - c. Diseño de una instalación centralizada para el tratamiento y almacenamiento según su tipo
  - d. Manuales técnicos de tratamiento y gestión de los desechos radiactivos que derivan de las aplicaciones nucleares
3. Capacitación en aspectos específicos requeridos por los países, así como la gestión de proyectos tipo, y la promoción de reuniones internacionales.
  4. Promoción de legislación internacional y protección a los océanos
  5. Participación en la evacuación de desechos radiactivos depositados en el mar y en otro tipo de repositorios.
  6. Asesoramiento en el diseño y construcción de repositorios tanto de tipo geológico-profundo como superficial para el depósito de materiales radiactivos según el tipo de actividad y vida media estimada.

Es de esperar, pues, que en los próximos años se llegue a un consenso universal sobre asuntos relacionados con la gestión de desechos.

#### *4. Conclusiones*

Las tendencias actuales orientadas a la protección ambiental, y a promover el desarrollo económico social en el contexto del desarrollo sostenible, están permeando de manera significativa todas las esferas del quehacer humano. En el caso de la gestión de desechos radiactivos estas

influencias son muy fuertes. Sin duda alguna las aplicaciones de la tecnología de radiaciones, así como la utilización de reactores tanto de potencia como de investigación, constituyen un campo importante que marcará decisivamente muchas esferas de la vida económica y social del siglo venidero. Las medidas que se están adoptando, así como el desarrollo de tecnologías que permitan hacer un uso eficiente y reutilizar los materiales

provenientes del ciclo del combustible nuclear, tendrán un impacto significativo a nivel mundial. Por otro lado, el reciclamiento de fuentes selladas gastadas, y el establecimiento de regulaciones sobre venta y recuperación de fuentes gastadas, contribuirán también, de manera importante, a forjar un nuevo mundo en el próximo siglo.

Sin embargo, subsiste un problema importante que debe ser atendido: y es que

**Cuadro 6.** Principios de la gestión de desechos radiactivos.

- Principio 1: **Protección de la sanidad humana.** La gestión de desechos radiactivos se realizará de manera que garantice un nivel aceptable de protección de la sanidad humana.
- Principio 2: **Protección del medio ambiente.** La gestión de desechos radiactivos se realizará de manera que proteja el medio ambiente.
- Principio 3: **Protección fuera de las fronteras nacionales.** La gestión de desechos radiactivos se realizará de manera que asegure que los posibles efectos sobre la sanidad humana y el medio ambiente fuera de las fronteras nacionales no rebasarán el nivel aceptable en el país de origen.
- Principio 4: **Protección de las generaciones futuras.** La gestión de desechos radiactivos se realizará de manera que la repercusión pronosticada sobre la sanidad de las generaciones futuras no sobrepase los niveles pertinentes aceptables hoy día.
- Principio 5: **Cargas transmitidas a las generaciones futuras.** La gestión de desechos radiactivos se realizará de manera que no imponga cargas excesivas sobre las generaciones futuras.
- Principio 6: **Marco jurídico.** La gestión de desechos radiactivos se realizará dentro de un marco jurídico apropiado que incluya la atribución bien definida de responsabilidades y la previsión de funciones reglamentadoras independientes.
- Principio 7: **Control de la generación de desechos.** La generación de desechos radiactivos se mantendrá al más bajo nivel posible.
- Principio 8: **Gestión de desechos radiactivos e interdependencia de la gestión.** Se tendrá debidamente en cuenta la interdependencia de todas las etapas de la generación y gestión de desechos radiactivos.
- Principio 9: **Seguridad de las instalaciones.** La seguridad de las instalaciones dedicadas a la gestión de desechos radiactivos se garantizará convenientemente durante la vida útil de éstas.

**Fuente:** Normas de Seguridad para la Gestión de Desechos Radiactivos, OIEA, 1994

a medida que aumenta la capacidad de los países en el campo nuclear, también aumenta la probabilidad de que los materiales radiactivos sean utilizados en la construcción de armamentos. Las políticas de salvaguardia de materiales nucleares, constituyen una preocupación importante a nivel internacional. Pero no existen los mecanismos que permitan imponer medidas a los países en este momento.

### *Literatura Citada*

Bergman y Petterson (1994) "Aplicaciones de la radiaciones y gestión de desechos: Adopción de medidas definitivas". *Boletín del OIEA*, Vol. 36(1).

Jankowitsch y Flakus (1994) "Convención internacional sobre seguridad nuclear: Un hito histórico". *Boletín del OIEA*, Vol. 36(3).

Linsley, Gordon y Fattah, Abdul (1994) "Interfaz entre salvaguardias nucleares y la

evacuación de desechos radiactivos: nuevos problemas" *Boletín del OIEA*, Vol. 36(2).

Naciones Unidas (1992) *Programa 21*, Editorial Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica.

Paschoa y otros (1993) "De nuevo Goiânia: Perspectivas de un repositorio definitivo de desechos radiactivos". *Boletín del OIEA*, Vol. 35(1).

Saire y otros (1994) "Transferencia de tecnología para la gestión segura de desechos radiactivos: Adopción de los enfoques". *Boletín del OIEA*, Vol. 36 (4).

Semenov y otro (1993) "Ciclos del combustible nuclear: Ajuste a las nuevas realidades". *Boletín del OIEA*, Vol. 35 (3).

Takáts y otros (1993) "Gestión del combustible gastado proveniente de reactores de potencia y de investigación: Situación y tendencias internacionales". *Boletín del OIEA*, Vol. 35(3).