

LA SEGURIDAD EN LA GESTIÓN DE DESECHOS RADIATIVOS

LOGRO DE SOLUCIONES INTERNACIONALMENTE ACEPTABLES

POR ABEL J. GONZALEZ

Como reveladoras huellas digitales, los desechos que dejamos atrás caracterizan a nuestra civilización humana. Muestran la forma en que vivimos y cómo cuidamos el mundo que nos rodea.

Durante el pasado siglo, los desechos radiactivos se convirtieron en un inevitable, detectable y, en cierto modo, controvertido subproducto de la aplicación de las tecnologías nuclear y de las radiaciones. Para mérito de las sociedades modernas, los desechos radiactivos provenientes de la aplicación de la energía nuclear con fines pacíficos han estado, por lo general, sometidos a controles mucho más estrictos que los aplicados a otro tipo de desechos. Los principios rectores técnicos y de seguridad tienen características singulares: los desechos de actividad alta no se diluyen ni dispersan en el medio ambiente, sino que se confinan, contienen y aíslan. Este enfoque diferente permite acumular un buen expediente de seguridad respecto de los desechos radiactivos generados en las aplicaciones nucleares pacíficas.

Sin embargo, aún quedan por resolver problemas y dificultades, sobre todo los vinculados a las incertidumbres en torno a las antiguas prácticas y los futuros planes de disposición final.

Por una parte, está la incertidumbre que plantea el manejo de los desechos radiactivos generados por las actividades militares durante la Guerra Fría. Los casos notificados han sido graves, costosos y revelan la existencia de problemas quizás más grandes. Es innegable que estos problemas suscitan muchas dudas sobre todos los tipos de almacenamiento y disposición final de desechos radiactivos, y, lamentablemente,

distorsionan las opiniones acerca del expediente de seguridad de la gestión de desechos procedentes de las actividades del sector civil.

Por otra parte, está la incertidumbre en torno a la disposición final de los desechos de radiactividad muy alta, que requieren aislamiento durante miles de años. Por diversos motivos, los gobiernos no han podido tomar decisiones definitivas respecto de la disposición final de los desechos de actividad alta, aunque las soluciones tecnológicas se consideran factibles y las instalaciones experimentales señalan el camino que se debe seguir. Esta situación ha influido en las percepciones y las actitudes del público en cuanto a continuar desarrollando la energía nuclear.

Afortunadamente, a nivel internacional, está surgiendo un nuevo consenso sobre cómo avanzar. Las medidas adoptadas exigen que se demuestren de manera más palpable las soluciones para la disposición final de desechos radiactivos y que se fortalezca el marco internacional que garantice la gestión segura de todos los tipos de desechos radiactivos y que sea más sensible a las necesidades y exigencias del público, de los responsables de formular las políticas y de todas las demás partes interesadas (es decir, los llamados "interesados directos") en el proceso de tomar decisiones sobre cuestiones complejas relacionadas con la gestión de desechos radiactivos.

Actualmente, el OIEA va a la vanguardia en esta cambiante y difícil coyuntura. Mediante diversos programas, el Organismo y sus Estados Miembros, desempeñan un papel catalizador en pro de una cooperación internacional más eficaz. En el presente artículo, se examinan los acontecimientos

registrados recientemente que han determinado el inicio de este período de trascendental importancia para la seguridad de la gestión de desechos radiactivos y el futuro del desarrollo nuclear.

Incluso antes de que en la histórica Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo, celebrada en 1992, surgiera el lema de "desarrollo sostenible", las cuestiones ya ambientales encabezaban el programa internacional. Sin embargo, la Conferencia de Río de Janeiro indicó un cambio drástico, la renovación de un compromiso y el aumento de las expectativas del público en cuanto a lo que es preciso hacer.

En esa Conferencia, los gobiernos aprobaron un plan de acción para el siglo XXI --denominado Programa 21-- que tiene sus orígenes en la dinámica relación existente entre el desarrollo social, económico y ambiental en cuanto al ordenamiento de los recursos de la Tierra. Es un programa en el que los gobiernos, los individuos y las organizaciones participan por igual a fin de encontrar soluciones sostenibles para los problemas comunes.

Las repercusiones del Programa 21 son significativas, sobre todo para la manera en que las sociedades velarán por que sus desechos no pongan en peligro el aire, no penetren en ríos, embalses y mares ni contaminen las tierras fértiles de las generaciones futuras. Tres de los casi 40 temas importantes escogidos

El Sr. González es Director de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos.

FUENTES NATURALES DE DESECHOS RADIATIVOS

Muchas personas se sorprenden al saber que la propia naturaleza es una gran productora de desechos radiactivos. Una enorme reserva de materiales radiactivos primigenios se encuentra en la superficie y debajo de la corteza terrestre. Procesos naturales, como las erupciones volcánicas, los manantiales de aguas minerales, la erosión y los movimientos de arena, pueden introducir parte de este enorme inventario radiactivo en el hábitat humano.

En Oklo, Gabón, hace 1800 millones de años, un proceso de fisión espontánea que tuvo lugar en un depósito rico en uranio produjo el mismo tipo de desechos radiactivos que generan las centrales nucleares.

Extracción, tratamiento y procesamiento de materiales radiactivos naturales. A los procesos naturales se suman actividades industriales como la producción de minerales en las que se extraen materiales radiactivos primigenios de la Tierra, se utiliza parte de ellos y se deja el resto como residuos radiactivos. La extracción, el tratamiento y el uso industrial de materiales radiactivos naturales (generalmente conocidos como *NORM*) abarcan diversos recursos minerales y actividades industriales. Las principales industrias incluyen la producción de fósforo elemental; la producción de ácido fosfórico; la producción de fertilizantes; la producción de hierro primario y acero; la elaboración del alquitrán de hulla; la producción de coque; las centrales nucleares alimentadas con carbón y con gas; la extracción de carbón, turba, petróleo y gas; la producción de cemento; la industria de la cerámica; la arena mineral; la pro-

ducción de pigmentos a base de titanio, y la extracción de uranio y torio. En algunos de estos procesos industriales, la concentración de materiales radiactivos en el producto y en los desechos puede ser mucho mayor que en el mineral. (Véase el recuadro de las páginas 38 y 39.)

El inventario mundial de desechos radiactivos que se han acumulado debido a procesos naturales y generados por el procesamiento industrial de los NORM es mayormente desconocido. Sin embargo, la cantidad conocida de esos desechos radiactivos naturales es enorme y no ha despertado el mismo interés que los desechos radiactivos procedentes de las actividades humanas. Esta es la situación, aun cuando los niveles de exposición del público a las radiaciones atribuibles a algunos desechos naturales pueden ser de hasta dos órdenes de magnitud por encima de los límites establecidos en las normas internacionales de seguridad para los desechos radiactivos generados por las actividades humanas.

En muchas regiones del mundo, las barreras naturales han mantenido a los NORM aislados durante períodos notablemente prolongados. Por ejemplo, en la mina de uranio de Cigar Lake en el Canadá, el confinamiento ha resultado tan eficaz que no existe ningún indicio químico ni radiológico del depósito de mineral en la superficie de la tierra. En la mina de Alligator Rivers, en Australia, el uranio y sus productos de desintegración se han desplazado sólo a 10 metros de la masa de mineral, aunque ésta se encuentra en formaciones geológicas con un flujo de aguas subterráneas relativamente rápido.

para la adopción de medidas prioritarias están relacionados con la gestión de los desechos peligrosos. En el campo de los desechos radiactivos, se considera que el OIEA desempeña la función rectora en el plano internacional.

Pese a la hoja de servicios en materia de seguridad acumulada en la gestión de desechos radiactivos, procedentes de las actividades nucleares con fines pacíficos, es preciso trabajar más para satisfacer las expectativas y mayores exigencias que caracterizan los inicios de este siglo, y para difundir con más claridad el trabajo que se ha hecho desde el descubrimiento de la radiactividad hace más de 100 años.

El principal desafío de hoy día es fortalecer un régimen internacional para la seguridad de la gestión de

desechos radiactivos, que se amplía bajo la égida del OIEA. Lograrlo significará aumentar la cooperación sobre las formas de intercambiar experiencia y conocimientos técnicos; aumentar la coordinación de los esfuerzos, a fin de garantizar la aplicación de las soluciones y ampliar el diálogo para mantener la confianza y el apoyo del público.

Esta iniciativa es una respuesta oportuna en el contexto de los acontecimientos internacionales y las crecientes dimensiones de las cuestiones relacionadas con la gestión y disposición final de desechos radiactivos.

DIMENSIONES COMPLEJAS

Según donde se viva, se puede ir caminando sobre un terreno que puede catalogarse de "desecho

radiactivo". En esencia, todas las sustancias contienen elementos radiactivos de origen natural. Los niveles de dicha radiactividad natural en el medio ambiente varían en todo el mundo y, en algunos lugares, pueden ser bastante elevados.

Por lo general, la radiactividad natural de la Tierra no se considera parte del programa mundial de desechos. Sin embargo, al fijar un patrón de medida, se sabe que la radiactividad de origen natural desempeña un papel importante en el panorama más amplio de la gestión de los riesgos y en la manera en que deben regularse los desechos radiactivos para proteger la salud pública, la seguridad y el medio ambiente. (Véase el recuadro de esta página y el de la página siguiente.)

MATERIALES RADIATIVOS EN LA NATURALEZA

■ Radio 226 en aguas naturales.

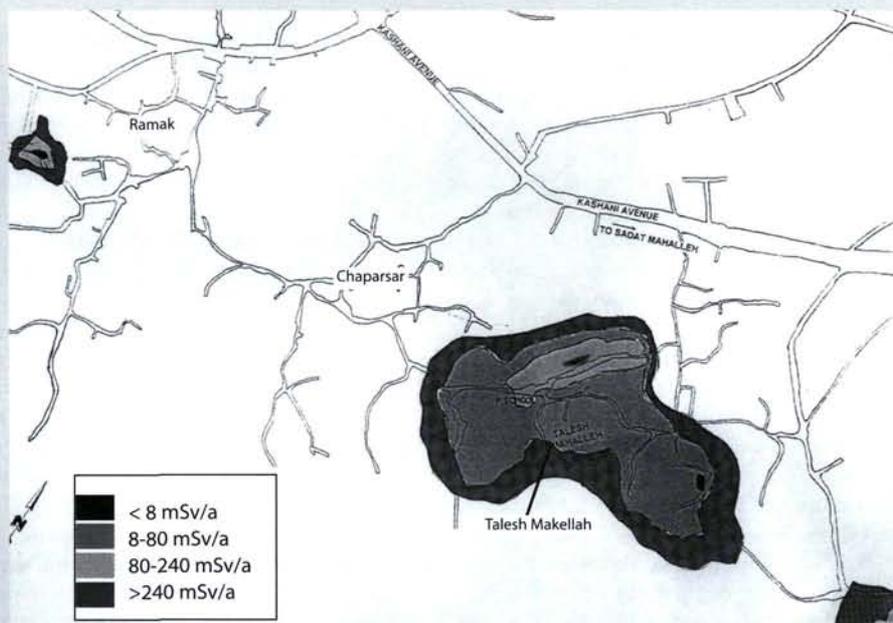
El mapa muestra regiones del Mar Caspio cercanas a ciudad de Ramsar, República Islámica del Irán, donde brotan aguas minerales ricas en radio 226 que depositan "residuos" de precipitados; los niveles de radiactividad de estos residuos pueden exponer a los residentes de la región a radiaciones elevadas. Estos niveles pueden estar 100 veces por encima de los límites internacionales de exposición aplicables a la disposición final de desechos radiactivos (actualmente de un milisievert al año). (Fuente: *V Conferencia Internacional sobre Altos Niveles de Radiación Natural Altos, Munich, 2000*)

■ Arena monacitada en zonas costeras.

Los depósitos de arena en los estados de Río de Janeiro y Espíritu Santo, Brasil, pueden provocar exposiciones a las radiaciones que, por término medio, son 3,6 veces superiores al límite internacional y, en algunos casos, más de 30 veces mayores. El mismo tipo de depósitos existentes en Kerala y Tamil Nadu, India, puede provocar exposiciones a las radiaciones que, por término medio, son unas nueve veces superiores al límite y, en algunos casos, más de 30 veces mayores.

■ **Depósitos volcánicos.** Los depósitos volcánicos en Minas Gerais y Goiás, Brasil, pueden provocar exposiciones a las radiaciones que, por término medio, son 13 veces superiores al límite y, en algunos casos, más de 80 veces mayores. El mismo tipo de depósitos en la isla de Niue puede provocar exposiciones que alcanzan niveles cinco veces por encima del límite.

■ **Carbonalito que contiene torio.** Los depósitos en Mombasa, Kenya, provocan exposiciones a las radiaciones que pueden alcanzar niveles 30 veces superiores al límite.



La naturaleza siempre ha sido el principal generador de desechos radiactivos. Por ejemplo, se calcula que la cantidad de radiactividad natural presente en los mares sea del orden de 10 000 Ebq. (Esta cifra es elevada: como lo expresa la unidad internacional de radiactividad o becquerel, ésta contiene 22 dígitos. Un becquerel representa una cantidad de radiactividad sumamente pequeña y, por tanto, se necesitan números altos para expresar una cantidad significativa). Los desechos radiactivos naturales generados con el transcurso del tiempo --y más recientemente por las industrias de procesamiento de materiales radiactivos naturales, o los NORM-- son sencillamente imposibles de cuantificar (por ejemplo, se ha calculado que sólo

en las regiones de Chkalovsk y Taborsha en Tadjikistán, las colas de desechos residuales provenientes de antiguas operaciones de extracción y tratamiento llegan a unos 50 millones de toneladas con un nivel total de radiactividad de período largo de hasta 0,001 Ebq). Miles de colas de este tipo se encuentran en otros lugares del mundo.

Las preocupaciones del público se centran fundamentalmente en los desechos provenientes de fuentes "artificiales" de radiactividad, en otras palabras, los resultantes de las actividades humanas. Las actividades nucleares del sector civil, incluida la producción mundial de energía nucleoelectrónica, producen sólo una parte de los desechos radiactivos del mundo. Los

programas nucleares militares, entre ellos los ensayos de armas realizados en la atmósfera durante el período de la guerra fría, han generado un porcentaje elevado de desechos radiactivos en todo el mundo. Graves problemas se han puesto de manifiesto debido a antiguas prácticas de gestión de desechos que, por primera vez, comienzan a recibir más atención a escala internacional. (Véase el recuadro de las páginas 8 y 9, y el Boletín del OIEA, Vol. 40, No. 4, 1998).

Según el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), como resultado de la práctica de realizar ensayos de armas nucleares durante la guerra fría, más de 1000 Ebq de desechos radiactivos se descargaron

EL LEGADO DE DESECHOS RADIATIVOS DE LA GUERRA FRÍA

En el pasado decenio, la dimensión de la gestión de desechos radiactivos generados por las actividades militares atrajo creciente atención. Grandes cantidades de desechos radiactivos sujetos a jurisdicción militar se acumularon en numerosos emplazamientos en todo el mundo, sobre todo en los Estados Unidos y en la ex Unión Soviética, durante el período de la Guerra Fría. Informes y estudios realizados han corroborado los problemas originados por las prácticas de la gestión de desechos provenientes del sector militar, y las medidas que se adoptan para solucionarlos.

Una cantidad significativa de desechos radiactivos procedentes de las operaciones militares entró al medio ambiente debido a la fabricación de armas nucleares y sus ensayos atmosféricos y subterráneos, los accidentes con radiaciones en gran escala, y la disposición final de desechos radiactivos en los mares. Sobre todo durante el período inicial de las operaciones, ocurrieron varios percances que provocaron las descargas de desechos radiactivos en el medio ambiente. En la ex Unión Soviética, las descargas entraron en el río Techa y, posteriormente, en el lago Karachái y en otros embalses abiertos en la región de Cheliábinsk, el río Yeniséi, cerca de Krasnoíarsk y el río Tom, cerca de Tomsk. Entre los accidentes se encuentran la explosión de un depósito con desechos radiactivos en Mayak, y la dispersión de polvo radiactivo transportado por el viento, en las orillas del lago Karachái; ambos accidentes ocurrieron en la región de Cheliábinsk en 1957 y 1967, respectivamente, además de la explosión de una planta de reprocesamiento, en Tomsk, en 1993.

El Programa de los Estados Unidos. En este país, grandes cantidades de recursos financieros se destinan a la gestión de desechos radiactivos procedentes de las actividades de defensa. El Programa de Ordenación del Medio Ambiente del Departamento de Energía de los Estados Unidos (DOE) está encargado de abordar el asunto del legado ambiental dejado por las investigaciones, la fabricación y los ensayos de armas nucleares, y de las investigaciones en materia de energía nuclear y ciencias puras financiadas por el DOE. (Véase el recuadro de la página siguiente.) Todas estas actividades generaron grandes volúmenes de materiales nucleares, combustible nuclear gastado, desechos radiactivos y peligrosos, que contaminaron las instalaciones, los suelos y las aguas subterráneas en 113 emplazamientos de todo el país.

El Programa de Ordenación del Medio Ambiente dirige algunos de los trabajos más complejos y difíciles desde el punto de vista técnico para cualquier programa ambiental en el mundo. Pese a la complejidad y magnitud de su misión, el Programa ya ha concluido la descontaminación completa de 69 de los 113 emplazamientos. Desde 1997, el Programa ha puesto en práctica la iniciativa del cierre de emplazamientos, a fin de mejorar la gestión de programas, acelerar y concluir la descontaminación, así como cerrar en el 2006 la mayor cantidad posible de emplazamientos o partes de emplazamientos. El costo de esta importante operación es enorme y probablemente se acerque a varios cientos de miles de millones de dóla-

res de los Estados Unidos. La estimación de los costos del ciclo de vida incluye gastos por unos 35 000 millones de dólares en los que el Programa ha incurrido desde su comienzo en 1989 hasta el año fiscal de 1996. El Programa aún tiene por delante difíciles tareas que probablemente requerirán de 168 000 a 212 000 millones de dólares para terminarlas.

La Federación de Rusia y los programas de cooperación. Al otro lado del Atlántico, el Instituto Internacional de Análisis Aplicado de Sistemas (IIAAS) estableció el proyecto de Seguridad Radiológica de la Biosfera (RAD), a fin de realizar varios estudios sobre los problemas creados por los desechos radiactivos en la antigua URSS. En la Federación de Rusia, los problemas relacionados con este legado radiológico se tratan en el marco del Programa federal ruso denominado "Gestión de desechos radiactivos y materiales nucleares gastados, su utilización y disposición final para el período comprendido entre 1996 y 2005". Este programa recibe importantes aportes mediante un proyecto denominado Radleg, del Centro Internacional de Ciencia y Tecnología (ISTC). El IIAAS es uno de los iniciadores de este proyecto y su principal cliente. Los resultados del proyecto Radleg deben hacer importantes contribuciones al más amplio proyecto RAD.

Además, en 1995, se estableció un grupo de contacto integrado por expertos para la cooperación internacional en esferas de la gestión de desechos radiactivos en la Federación de Rusia. Está a punto de concluirse un documento sobre la estrategia general de gestión de desechos radiactivos y del combustible gastado, en la Federación de Rusia, que facilitará el apoyo financiero a proyectos de alta prioridad. Se han tomado disposiciones financieras respecto de algunas actividades prioritarias relacionadas con el almacenamiento de combustible gastado y el procesamiento de desechos. (Véase el artículo de la página 64.)

En la antigua URSS, la estructura del complejo nuclear incluía los reactores productores de plutonio y tritio; la fabricación de combustible nuclear para los reactores; la producción de uranio muy enriquecido (UME); la reelaboración de combustible gastado de los reactores productores para recuperar plutonio, la producción de componentes de armas nucleares a partir de UME y plutonio metálicos; las fábricas e instituciones dedicadas al diseño y la fabricación de ojivas nucleares y dispositivos conexos; los trabajos de producción para la fabricación de combustible nuclear destinado a los reactores de propulsión de buques de guerra nucleares y las instalaciones para el procesamiento de combustible gastado; las centrales nucleares, los reactores de investigación, los reactores de propulsión de buques nucleares civiles, las plantas para la fabricación de combustible nuclear y las plantas de reprocesamiento de combustible gastado; las instalaciones para la producción de isótopos radiactivos y fuentes de radiación ionizante destinados a la economía nacional, y las empresas para el procesamiento y disposición final de desechos radiactivos (empresas especiales del radón). La producción de materiales nucleares primarios con fines militares y civiles se realizaba, por regla general, en instalaciones indus-

CANTIDADES DE DESECHOS RADIATIVOS Y COMBUSTIBLE GASTADO PROCEDENTES DE LAS ACTIVIDADES DE DEFENSA EN LOS ESTADOS UNIDOS

En los Estados Unidos, la gestión de desechos radiactivos provenientes de las actividades de defensa abarca:

- la rehabilitación de casi 10 billones de litros de aguas subterráneas contaminadas, cantidad igual a casi cuatro veces el consumo diario de agua en los Estados Unidos;
- la rehabilitación de 40 millones de metros cúbicos de suelos y detritos contaminados, suficientes para llenar unos 17 estadios deportivos profesionales;
- el almacenamiento y vigilancia en condiciones de seguridad de más de 18 toneladas métricas de plutonio utilizable para la fabricación de armas, suficientes para fabricar miles de armas nucleares;
- la gestión de más de 2000 toneladas de combustible nuclear gastado muy radiactivo;
- el almacenamiento, tratamiento y disposición final de desechos radiactivos y peligrosos, incluidos más de 160 000 metros cúbicos que están actualmente almacenados y más de 50 000 millones de litros de desechos líquidos de radiactividad alta;
- la desactivación y/o clausura de unas 4000 instalaciones, que ya no son necesarias para apoyar misiones activas;
- la ejecución de programas de no proliferación nuclear de importancia fundamental para recibir el combustible nuclear gastado y realizar su gestión segura; ese combustible procede de reactores de investigación extranjeros y contiene uranio muy enriquecido utilizable para la fabricación de armas;
- el cuidado y la vigilancia a largo plazo --o la custodia-- posiblemente durante cientos de años, de unos 109 emplazamientos tras su descontaminación .

CANTIDADES DE DESECHOS RADIATIVOS Y COMBUSTIBLE GASTADO ACUMULADOS EN LA FEDERACION DE RUSIA

Ministerios, departamentos, y organizaciones	Líquidos		Sólidos		Combustible gastado	
	m ³	Bq	m ³	Bq	Tons	Bq
Ministerio de Energía Atómica de la Federación de Rusia (Minatom) Extracción y tratamiento del mineral de uranio, enriquecimiento del uranio, fabricación de combustible nuclear, producción de energía nucleoelectrónica, reprocesamiento del combustible gastado y producción de materiales para armas nucleares.	4,0 10 ⁸	6,3 10 ¹⁹	2,2 10 ⁸	8,14 10 ¹⁸	8700	17,02 10 ¹⁹
Ministerio de Defensa de la Federación de Rusia (Armada) Explotación y utilización de buques y submarinos nucleares	1,4 10 ⁴	4,44 10 ¹²	1,3 10 ⁴	29,6 10 ¹²	30	5,55 10 ¹⁷
Ministerio de Economía de la Federación de Rusia Departamento de la Industria de Defensa Construcción, reparación y utilización de buques y submarinos nucleares	3,2 10 ³	18,5 10 ¹⁰	1,5 10 ³	3,7 10 ¹²	*	*
Ministerio de Transporte de la Federación de Rusia Explotación y utilización de rompehielos nucleares	4,4 10 ²	5,5 10 ¹³	7,3 10 ²	3,7 10 ¹⁶	10	17,39 10 ¹⁷
Empresas especiales del radón Procesamiento y disposición final de materiales radiactivos utilizados en las medicinas, las investigaciones científicas, la industria, etc.	-	-	2,0 10 ⁵	7,77 10 ¹⁶	-	-
Total	4,0 10⁸	6,29 10¹⁹	2,2 10⁸	8,51 10¹⁸	8740	17,39 10¹⁹

* Más de 100 submarinos con propulsión nuclear y su combustible gastado esperan ser retirados de servicio.

triales comunes. Las principales instalaciones del complejo nuclear soviético eran la Asociación Industrial de Mayak, en la región de Cheliábinsk, el Combinado Químico de Siberia, en la región de Tomsk y el Combinado Minero y Químico, en Krasnoíarsk. La Federación de Rusia heredó más del 80% del potencial industrial nuclear de la antigua URSS y, por tanto, sus desechos radiactivos. Se estima que el volumen total de desechos radiactivos y combustible gastado acumulado en el territo-

rio de la Federación de Rusia es de más de 600 millones de metros cúbicos de desechos radiactivos y 8700 toneladas de combustible gastado que esperan por su disposición final (véase el cuadro), además de grandes cantidades de desechos residuales provenientes, de las actividades de extracción y tratamiento. Según el IIAAS, la gestión de estos desechos radiactivos se realiza de una manera que no cumple cabalmente las modernas normas internacionales de seguridad radiológica.

libremente en la atmósfera; aunque la mayoría de estos desechos era de período corto, un porcentaje de cerca del 1% era de período relativamente largo. Además, sólo en un Estado poseedor de armas nucleares, las actividades militares relacionadas con la producción de materiales para armas han dejado un legado de cerca de 1000 E bq de desechos residuales, en su mayoría en condiciones de confinamiento precarias. Además, entre 1946 y 1993, como resultado de operaciones de vertimiento "normales", se descargaron cerca de 0,1 E bq de desechos radiactivos en el Atlántico Norte, en el océano Pacífico y en el Ártico. De hecho, mucho más se ha vertido en los océanos del mundo como resultado de "accidentes y pérdidas", entre ellos, numerosos submarinos nucleares hundidos (el último fue el *Kursk* en agosto de 2000) e incluso satélites que funcionan con energía nuclear que han caído en la Tierra.

Los desechos provenientes de la utilización de la energía nuclear con fines pacíficos suelen ser objeto del examen más riguroso del público, aun cuando su gestión y confinamiento sean adecuados y sus niveles de radiactividad sean análogos a los de otras fuentes, cuya gestión no sea tan adecuada. La cantidad de radiactividad en los desechos acumulados como resultado de la producción mundial de energía nucleoelectrónica durante los últimos cincuenta años es también del orden de 1000 E bq; este inventario aumenta a un ritmo de unos 100 E bq al año.

El volumen de desechos radiactivos provenientes del sector civil tampoco es muy grande. Todos los desechos de actividad alta acumulados hasta ahora --aunque muy radiactivos-- podrían colocarse en un lugar de almacenamiento grande de alrededor de una hectárea, o una cuadra de cualquier ciudad. Esto obedece a la eficiencia del combustible nuclear y a la rigurosa estrategia de concentración y

confinamiento de los desechos que aplica la industria nuclear civil. La explotación de una central nuclear eléctrica de 1000 megavatios requiere cerca de 27 toneladas de combustible al año. Una central equivalente alimentada con combustible fósil consumiría al año unos 2,6 millones de toneladas de carbón (o cinco trenes de 1400 toneladas cada uno al día) o 2 millones de toneladas de petróleo (o 10 superpetroleros al año). No sorprende que estas diferencias se vean en los desechos que se generan. La central nuclear producirá unas 27 toneladas de desechos radiactivos de actividad alta, 310 toneladas de desechos de actividad media y 460 toneladas de desechos de actividad baja, mientras que la central equivalente alimentada con carbón liberará en el medio ambiente 6 millones de toneladas de gases de efecto invernadero, 244 000 toneladas de óxidos de azufre, 222 000 toneladas de óxidos de nitrógeno y 320 000 toneladas de cenizas que contienen 400 toneladas de metales pesados tóxicos. Estas cenizas contienen grandes cantidades de NORM concentrados, que pueden exponer a la raza humana a dosis colectivas más altas que las atribuibles a los desechos descargados en el medio ambiente por las centrales nucleares que generan la misma cantidad de electricidad.

En realidad, los propios procesos de la naturaleza y el legado radiológico de las bombas han complicado el panorama de la gestión de desechos radiactivos. Ellos, invariablemente, plantean dudas acerca de cómo se manipulan los desechos provenientes de la producción de energía nucleoelectrónica y otras aplicaciones nucleares pacíficas, y acerca del alcance de la cooperación internacional en esta esfera durante los últimos cuatro decenios. Es posible que estas dudas nunca se disipen completamente --en opinión del público, el lugar de procedencia de los desechos

radiactivos quizás sea mucho menos importante que su manipulación y disposición final seguras--, hasta tanto los problemas se aborden en conjunto y se resuelvan de forma aceptable con una base de apoyo más amplia.

Gestión de desechos radiactivos. Este concepto se aplica generalmente para definir la secuencia de operaciones que comienza con la generación de desechos radiactivos, incluidos su almacenamiento (es decir, la retención temporal de desechos) y disposición final (es decir, la eliminación de los desechos sin intención de recuperarlos). En cuanto a la energía nucleoelectrónica, el proceso comprende la gestión del combustible gastado procedente de los reactores nucleares y termina con la disposición final segura de las sustancias radiactivas inservibles, a saber, las fuentes de radiación desechadas que, como subproducto de la energía nuclear, tienen aplicaciones útiles en la medicina, la industria y otras esferas. Tras la terminación de las actividades que entrañan el uso de materiales radiactivos, es posible que algunos desechos radiactivos queden en el emplazamiento y sus alrededores: éstos, por lo general, se denominan *residuos radiactivos*. La emisión de desechos radiactivos efluentes al medio ambiente suele denominarse *descargas radiactivas*.

Las dimensiones internacionales de la gestión de desechos radiactivos se extienden a esas actividades multifacéticas. Varias de las principales cuestiones están siendo objeto de especial atención:

- la gestión del combustible gastado procedente de los reactores nucleares;
- la disposición final de desechos radiactivos de actividad alta;
- la gestión y disposición final de las fuentes de radiación;
- el consenso potencial destinado a hallar soluciones internacionales para la seguridad en la gestión y disposición final de los desechos radiactivos.

Gestión del combustible

gastado. Algunos países consideran el combustible gastado procedente de reactores nucleares un desecho radiactivo de actividad alta; otros, como una ventaja, porque el material utilizable puede ser **reprocesado** para convertirlo en un nuevo combustible de reactor, separando los desechos y concentrándolos en vidrio estable y duradero.

Según estimaciones del OIEA, las 433 centrales nucleares en explotación en el mundo descargan anualmente unas 10 000 toneladas de combustible gastado. En los cuatro últimos decenios, la cantidad acumulativa de combustible gastado descargado en todo el mundo fue de unas 220 000 toneladas aproximadamente hasta finales de 1999. Alrededor de 145 000 toneladas se encontraban en instalaciones de almacenamiento seguro, y unas 75 000 toneladas fueron reprocesadas. Se prevé que para el año 2015, la cantidad acumulativa de combustible gastado sobrepase las 340 000 toneladas. (*Véase el gráfico de esta página.*)

El incremento previsto plantea problemas, pues los emplazamientos de almacenamiento en algunos países ya están llegando al tope de su capacidad. Con todo, a nivel mundial, hay o habrá suficiente capacidad de almacenamiento para atender las necesidades proyectadas de los reactores. En algunos países se prevé la utilización de repositorios geológicos para el combustible gastado.

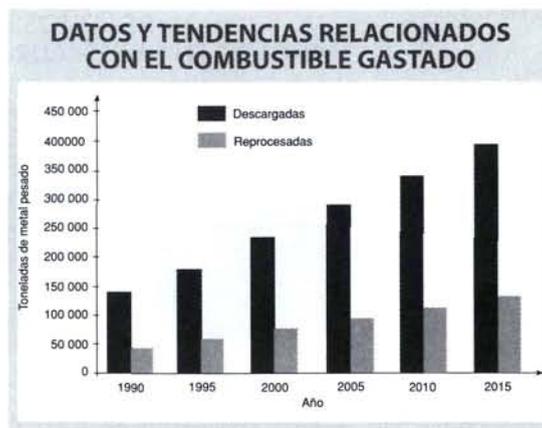
Los reactores nucleares de investigación también generan combustible gastado. Los datos del OIEA muestran que 58 países, incluidos 40 países en desarrollo, explotan 293 reactores de investigación, y 15 más están en fase de construcción. Muchos de los conjuntos combustibles descargados permanecen en el emplazamiento, y algunos ya llevan más de 30 años almacenados.

Según estimaciones aproximadas, 63 000 se encuentran almacenados y otros 23 000 están en núcleos de reactores. De los conjuntos almacenados, unos 46 000 están en países industrializados y 17 000 en países en desarrollo. Un problema fundamental es la disposición final de los conjuntos combustibles gastados en países en desarrollo que originalmente importaron el combustible nuclear. Si bien los acuerdos de importación exigen la devolución futura del combustible gastado al país proveedor, en muchos casos aún no se han negociado arreglos específicos.

Otras fuentes de combustible gastado son los reactores utilizados en la producción de materiales para armas nucleares y buques civiles y de guerra de propulsión nuclear. La gestión del combustible gastado del sector militar es una cuestión que suscita cada vez más preocupación.

Disposición final de desechos radiactivos. Las aplicaciones nucleares producen diferentes tipos de desechos radiactivos. En cuanto a volumen, en su mayoría son “desechos radiactivos de actividad baja”, cuya disposición final se realiza en instalaciones ubicadas justo debajo de la superficie de la Tierra. Se han construido más de 100 de esas instalaciones de disposición final someras y más de 30 están en fase de desarrollo en todo el mundo. Esas instalaciones reciben desechos de actividad baja de las centrales nucleares y los reactores de investigación, así como de la medicina, la industria y las investigaciones.

La situación es diferente en el caso de los desechos radiactivos de actividad alta, ya sea combustible gastado o sus desechos reprocesados, que deben ser aislados en condiciones de seguridad durante milenios. Los círculos científicos y técnicos suelen convenir en que la disposición final de estos desechos radiactivos de relativamente poco volumen, pero de actividad alta,

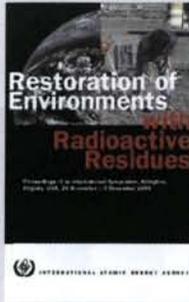


puede realizarse en formaciones geológicas estables, como antiguos domos de sal o túneles de granito a varios centenares de metros bajo la superficie. Múltiples barreras naturales y artificiales impedirían la intrusión humana y garantizarían la contención a largo plazo. Con todo, en ningún país se ha autorizado ningún concepto para la disposición final a largo plazo de los desechos comerciales de actividad alta.

El pasado año, la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos publicó una evaluación internacional de los progresos realizados en relación con la disposición final geológica. El informe destaca que la disposición final geológica es segura desde el punto de vista técnico, y que se deben conceder licencias y abrir instalaciones de disposición final con miras a demostrar de manera convincente que ello puede hacerse.

Un importante paso encaminado a demostrar el concepto de disposición final fue la apertura, en marzo de 1999, de la Planta Piloto para el Aislamiento de Desechos (WIPP), en los Estados Unidos. Ubicada a 700 metros de profundidad en una formación salina, la WIPP es el primer repositorio geológico certificado del mundo para la disposición final de desechos radiactivos de período largo. El emplazamiento fue aprobado para recibir desechos provenientes de

RESIDUOS RADIATIVOS: HINCAPIE EN LA RESTAURACION DEL MEDIO AMBIENTE



En el Simposio Internacional sobre la rehabilitación de ambientes con residuos radiactivos, celebrado del 29 de noviembre al 3 de diciembre de 1999, en Arlington, Virginia, EE.UU., se abordaron cuestiones relacionadas con los residuos radiactivos generados por actividades humanas y por fuentes naturales. Los datos presentados por los expertos demostraron que la magnitud de los problemas derivados de las actividades humanas, y que la de los problemas relacionados con los residuos radiactivos naturales es aún mayor y que quizás esté más generalizado. Una de las conclusiones fue que hay una evidente necesidad de armonizar de manera coherente la caracterización tanto de los residuos naturales como de los artificiales, a fin de poder encarar la gestión de riesgos y la rehabilitación de emplazamientos con un criterio común. Los participantes destacaron además la necesidad de promover una mayor comprensión por el público de los problemas y de que las partes interesadas participen en las actividades de planificación de la rehabilitación. Las actas del simposio pueden solicitarse al OIEA.

las actividades de defensa de los Estados Unidos, pero no tiene licencia para la disposición final de desechos de actividad alta.

Se observan progresos en el estudio y la planificación de la disposición final geológica para desechos de actividad alta en varios frentes en los Estados Unidos, Finlandia, Francia, Suecia y otros países. Con todo, se encuentran obstáculos significativos en muchos casos, fundamentalmente relacionados con las cuestiones de la aceptación del público, la selección del emplazamiento y la demostración de la seguridad.

Los avances tecnológicos registrados en el ciclo del combustible nuclear pueden ayudar a satisfacer algunas inquietudes. Por ejemplo, en la planta de reprocesamiento de La Haya, en Francia, las nuevas técnicas de reducción del volumen pueden convertir los desechos del combustible gastado en desechos sólidos vitrificados de actividad alta. Si la generación anual de combustible gastado del mundo pudiera reprocesarse con las reducciones de volumen equivalentes, puede estimarse aproximadamente que los sólidos

vitrificados resultantes serían del orden de 1000 metros cúbicos, es decir, un cubo de unos 10 metros por cada lado por año de producción de energía nuclear mundial.

Disposición final de fuentes de radiación en desuso. En materia de gestión de desechos está surgiendo un problema nuevo debido a las fuentes de radiación usadas en la medicina, la agricultura, la industria y otras esferas. La disposición final de esas fuentes, que ya no pueden usarse, tiene que realizarse de manera segura. Ahora bien, la gestión de muchas de las fuentes "en desuso" no ha sido adecuada, y a veces siguen "huérfanas" de control regulativo. Se han producido graves incidentes en diversos países, donde fuentes perdidas y abandonadas han ocasionado muertes y lesiones antes de ser recuperadas. En respuesta a los problemas, el OIEA emprendió un Plan de Acción para ayudar a los países a aumentar su capacidad para velar por el control y la disposición final segura de las fuentes de radiación. (Véanse el artículo de la página 60 y el Vol. 42, No. 3, del

Boletín del OIEA, septiembre de 1999.)

NUEVO CONSENSO SOBRE FORMAS DE AVANZAR

El Marco Internacional para la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos. Es un desafío colosal lograr un consenso internacional sobre la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos, ya que toca cuestiones complejas de índole científica, técnica y ética respecto a las cuales las opiniones de los profesionales no siempre coinciden. La iniciativa de fortalecer el marco internacional está fundamentalmente vinculada a la necesidad de armonizar los enfoques y sentar las bases para lograr que el público acepte las soluciones relacionadas con la gestión de desechos.

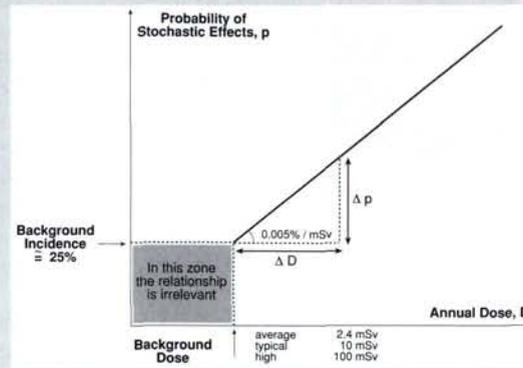
Algunas de las preguntas que se formulan son:

- ¿Deben controlarse los desechos radiactivos de fuentes naturales tan estrictamente como los generados por actividades humanas?
- ¿Qué valores éticos deben regir las decisiones sobre la seguridad de la disposición final de desechos, considerando que las generaciones futuras podrían estar expuestas a las radiaciones nocivas de los desechos dejados por nuestra generación?
- ¿Qué efectos para la salud pueden atribuirse a la exposición a las radiaciones de actividad baja que se prevé producirán los desechos radiactivos que han sido objeto de una buena gestión? (Véase el recuadro de la página 13.)
- ¿Deben las decisiones en materia de gestión de desechos depender de los nuevos adelantos tecnológicos o debe aplicarse la mejor tecnología de la que hoy se dispone? Por extensión, ¿es mejor proceder a la disposición final de los desechos radiactivos en esta fase o esperar y observar cómo evoluciona la tecnología en el futuro?

REGULACION DE LOS DESECHOS RADIACTIVOS: PROBLEMAS REALES Y APARENTES

Cuando la gestión de los desechos radiactivos es adecuada, se espera que las personas estén expuestas a niveles de dosis de radiación sumamente bajos. Sin embargo, el desconcertante debate profesional acerca de las suposiciones en que se sustenta la regulación de las dosis de radiación bajas puede estar prejuzgando erróneamente las percepciones del público. El debate académico se centra en lo que se denomina la hipótesis "lineal sin umbral" o LNT, que expresa el abrumador consenso internacional (incluido el sistema de las Naciones Unidas) sobre los efectos para la salud atribuibles a la exposición a las radiaciones. La LNT suele formularse de la siguiente manera simplista: la probabilidad de que alguien contraiga cáncer por exposición a las radiaciones es proporcional al nivel de dosis de radiación, sin un umbral seguro de dosis de radiación en cualquier dosis, por pequeña que sea. Ahora bien, la formulación internacional es más sutil y puede expresarse del modo siguiente: por encima de los diversos niveles de radiación de fondo que existan previamente (que tiene un nivel medio de 2,4 milisievert (mSv), y niveles típicamente elevados de cerca de 10 mSv, que podrían llegar hasta 100 mSv), un incremento de la exposición a las radiaciones plausiblemente ocasionará un incremento proporcional en la incidencia de cáncer por encima del nivel de incidencia previamente existente (que se sabe es en extremo elevado –en el mundo occidental alrededor del 25% de las personas muere de cáncer). El gráfico presenta la situación.

La forma de la relación de los niveles de radiación inferiores al nivel de fondo es una cuestión académica interesante, pero no tiene ningún peso en la regulación. El regulador tiene que considerar la plausibilidad de los efectos para la salud de las dosis de radiación superiores al fondo inevitable; además, dada la ubicuidad de la radiación, probablemente las consideraciones se basen en los niveles de fondo típicamente más altos (y no en los más bajos). Cabe destacar que, incluso en esas condiciones, la probabilidad



de contraer cáncer por una exposición marginal a radiaciones es sumamente pequeña. En la actualidad, el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas estima que es la cinco milésimas parte de un por ciento (0,005%) por mSv de exposición a las radiaciones; el nivel de exposición del público previsto derivado de desechos radiactivos objeto de una buena gestión es una pequeña fracción de 1 mSv.

Con el transcurso de los años, en la polémica sobre la LNT han participado radiobiólogos, reguladores y otros, y algunos de ellos han adoptado posiciones bastante extremistas acerca de los riesgos por exposición a bajos niveles de radiación. El polémico debate ha complicado los problemas de la regulación de los desechos radiactivos y sus dosis de radiación de actividad baja. Uno de los resultados no deseados de la controversia ha sido que, lejos de ilustrarse, el público esté más confundido. Otro lamentable resultado es la falta de coherencia en la regulación de los desechos radiactivos de actividad baja. En algunos casos, el proceso regulador ha impuesto severos castigos a la sociedad e, involuntariamente, ha obstaculizado la utilización de aplicaciones radiológicas y nucleares beneficiosas.

■ ¿Debe la seguridad en la disposición final de desechos ser una decisión puramente nacional o es una cuestión de interés internacional dado el posible alcance internacional de los problemas y las soluciones?

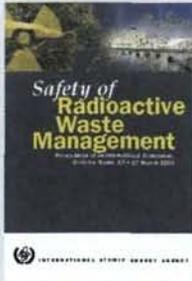
No hay respuestas fáciles para esas preguntas. Es importante señalar que esas preguntas se están formulando y debatiendo mediante el intercambio de criterios en conferencias internacionales, en órganos profesionales, y por

conducto de iniciativas adoptadas en el marco de los propios programas del OIEA sobre seguridad de la gestión de los desechos radiactivos. Varios acontecimientos internacionales recientes están ayudando a definir las formas de avanzar.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) publicó recientemente nuevas recomendaciones en esferas de la gestión de desechos radiactivos: ICRP Publication 77, *Radiological*

Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste; ICRP Publication 81, *Radiological Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste*; e ICRP Publication 82, *Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure*. (Véase el artículo de la página 21.) Además, el Grupo Internacional Asesor en Seguridad Nuclear publicó un nuevo informe, *The Safe Management of Sources of Radiation*:

LA CONFERENCIA DE CORDOBA



El resultado de una importante conferencia internacional, que tuvo lugar a principios del año en curso, influye extraordinariamente en el nuevo programa de gestión de los desechos radiactivos. *La Conferencia Internacional sobre la seguridad de la gestión de desechos radiactivos*, celebrada en Córdoba (España) del 13 al 17 de marzo

de 2000, fue organizada por el OIEA en colaboración con la Comisión Europea, la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos y la Organización Mundial de la Salud y el Gobierno de España fue su anfitrión. Participaron en la Conferencia más de 300 funcionarios superiores y científicos de 55 Estados Miembros y seis organizaciones internacionales.

El principal objetivo de la Conferencia fue permitir entablar un diálogo abierto entre los miembros de los círculos científicos, representantes de instalaciones que producen desechos radiactivos, funcionarios de los órganos encargados de la gestión de desechos radiactivos, de los órganos reguladores nucleares y de representantes de grupos del público interesados. El encuentro proporcionó a los encargados de la formulación de políticas y de la adopción de decisiones una base para la acción política, y resultó ser un paso importante en la búsqueda del *consenso internacional tan esencial en la esfera de la gestión de desechos radiactivos*.

La Conferencia concluyó que --puesto que los desechos radiactivos ya existen y no hacer nada al respecto no es una opción sostenible--, es deber de la presente generación evitar la imposición de una carga indebida a las futuras generaciones así como concebir y aplicar soluciones viables para la gestión segura, incluida la disposición final de dichos desechos. En cada país, incumbe al Parlamento y al Gobierno la responsabilidad de establecer el marco legislativo y de adoptar las decisiones políticas necesarias para la aplicación de una política nacional de gestión de desechos radiactivos.

La Conferencia recomendó que una política nacional de gestión de desechos radiactivos debería ser reflejo de las siguientes consideraciones:

■ Incumbe a los productores de desechos radiactivos la responsabilidad principal de su gestión segura, y son ellos los que deberían proponer opciones apropiadas y garantizar los recursos económicos necesarios para cumplir con dicha responsabilidad.

■ La gestión de desechos radiactivos debería abordarse "holísticamente" para evitar acciones que, si bien resuelven problemas inmediatos, podrían condicionar la futura adopción de decisiones.

■ Como existen incertidumbres, no solamente científicas y técnicas, sino también jurídicas y políticas, inherentes a las diversas opciones para la gestión segura de desechos radiactivos, es necesario procurar enfoques sólidos de gestión que sean aceptables en una amplia variedad de situaciones futuras posibles.

■ Las cuestiones de seguridad deberían abordarse independientemente, de modo que quede garantizado el cumplimiento de los reglamentos y criterios oficialmente definidos, que pueden necesitar revisión periódica con el fin de tener en cuenta los adelantos científicos y técnicos.

■ La puesta en práctica eficaz de las opciones de disposición final requiere una clara definición, en el ámbito nacional, de un enfoque gradual y transparente, que permita a las diferentes partes interesadas, incluidos el público en general y las instituciones públicas, participar en el proceso de adopción de decisiones.

En casi todas las sesiones técnicas, se produjeron debates sobre la necesidad de que intervengan todos los interesados directos en los procesos de adopción de decisiones en relación con la gestión de desechos radiactivos. En este contexto, se acogió con satisfacción la iniciativa del OIEA de pedir el establecimiento de un *foro internacional ad hoc*.

La Conferencia abarcó una gran diversidad de temas y allanó el camino para el fortalecimiento del consenso internacional en esferas clave de la gestión de desechos radiactivos. Las actas se pueden solicitar a la División de Publicaciones del OIEA.

Principles and Strategies.) (Véase el artículo de la página 19.)

Expertos, autoridades encargadas de formular políticas, especialistas en materia de seguridad y otros "interesados directos" han asistido además a importantes reuniones internacionales recientes,

organizadas por el OIEA. Una de ellas fue el Simposio Internacional sobre la rehabilitación de ambientes con residuos radiactivos, que estuvo muy cerca de llegar a un acuerdo sobre la delicada cuestión de la rehabilitación de los hábitat humanos contaminados con

residuos radiactivos. (Véase el recuadro de la página 12.) El foro mayor y más reciente fue la Conferencia Internacional sobre la seguridad en la gestión de desechos radiactivos, celebrada en Córdoba (España) del 13 al 17 de marzo de 2000. (Véase el recuadro de esta página.)

CORDOBA: EL NUEVO PROGRAMA

Los participantes en la Conferencia de Córdoba llegaron a conclusiones significativas sobre una amplia variedad de temas que influyen en la futura dirección a nivel internacional. Valiéndose de sus observaciones, conclusiones y recomendaciones técnicas, destacaron varios aspectos sobre temas clave, incluidos:

■ **Selección del emplazamiento para instalaciones de gestión de desechos radiactivos.** La Conferencia subrayó la importancia de lograr la confianza del público como elemento muy importante para progresos en la selección de emplazamientos para repositorios. Un proceso de selección de emplazamientos que brinde a las partes interesadas la oportunidad de participar desde el principio en un proceso bien definido y transparente proporcionaría mayores oportunidades de éxito.

La comunicación eficaz con el público es un elemento importante para crear y mantener la confianza y promover contribuciones significativas al proceso de adopción de decisiones. Los especialistas técnicos tienen que expresar las cuestiones complejas de la gestión de desechos en términos claros y comprensibles para todas las partes interesadas. Los medios de comunicación también pueden ayudar en esta labor, pero la Conferencia reconoció que los periodistas trabajan bajo sus propias presiones.

■ **Disposición final de desechos radiactivos de actividad baja.** La Conferencia apuntó que los repositorios cerca de la superficie para desechos radiactivos de actividad baja e intermedia procedentes de centrales nucleares, se utilizan en numerosos países, donde han sido aceptados tanto por la esfera política como por el público. En este caso, puede suponerse razonablemente que el

control institucional evite la intrusión durante el limitado período que ha de transcurrir hasta que la mayor parte de la actividad de los desechos haya disminuido por desintegración.

Debido a los grandes volúmenes de desechos radiactivos naturales (NORM) procedentes de la minería y tratamiento de uranio (así como de otras industrias que procesan NORM), la única opción de disposición final económicamente viable es en la superficie o cerca de ella. Aunque las concentraciones de radiactividad no son altas, los radionucleidos en los desechos de la minería y tratamiento son de períodos sumamente largos, y, por lo tanto, las instalaciones de disposición final cerca de la superficie para dichos desechos requerirían el control institucional "a perpetuidad" para evitar la intrusión humana.

Para la mayoría de los tipos de disposición final de desechos, el control institucional es uno de los elementos de un sistema de defensa en profundidad; en realidad, en el caso de la disposición final geológica, su principal finalidad sería proporcionar garantías, más que contribuir a la seguridad. En el caso de los desechos procedentes de la minería y tratamiento, puede ser la única línea de defensa viable para el futuro. Las cuestiones de este tipo rebasan el escenario puramente técnico, y requieren amplias deliberaciones con un espectro mucho más amplio de personas para elaborar soluciones realistas que puedan ser objeto de amplio apoyo.

■ **Disposición final geológica.** La Conferencia consideró, en particular, la disposición final geológica profunda de desechos radiactivos de actividad alta, reconociendo que plantea una serie de problemas de seguridad y éticos. Debe realizarse de modo seguro, tanto ahora como en el futuro, y la actual generación tiene que tener presentes las necesidades y la

seguridad de las futuras generaciones. Las cuestiones clave que deben considerarse son, entre otras: la demostración de la seguridad de la disposición final geológica profunda de desechos radiactivos de período largo y el logro de la aceptación del público y un compromiso al respecto; la seguridad y sostenibilidad del almacenamiento superficial a largo plazo, las repercusiones para la seguridad del establecimiento de almacenamientos subterráneos de materiales recuperables hasta que se proceda a la disposición final, y las ventajas de las instalaciones internacionales o regionales de disposición final para ayudar a pequeños países y limitar el número de emplazamientos de disposición final.

La selección del emplazamiento de repositorios tiene dimensiones locales, nacionales e internacionales. Es preciso proporcionar explicaciones sobre la necesidad de la disposición final, así como sobre los criterios conexos y los requisitos del proceso, tanto a nivel local como nacional. Aumentar la confianza del público a nivel local es una etapa importante en cualquier proceso de selección del emplazamiento de instalaciones de disposición final.

Una cuestión clave en la concesión de licencias de repositorios es la calidad prevista de las verificaciones de las cuestiones de seguridad, es decir, lo que constituye "garantía razonable" de que el repositorio cumplirá los criterios de seguridad a largo plazo. Actualmente, parece que no existe sustituto para el ejercicio del buen criterio.

La Conferencia reconoció que se ha realizado una gran cantidad de trabajo de investigación y desarrollo, con participación de laboratorios geológicos, y que existen suficientes conocimientos técnicos para permitir a la presente generación la gestión y disposición final seguras de desechos radiactivos; no obstante, se han hecho pocos progresos a escala

internacional en el establecimiento real de instalaciones de disposición final geológica. En los casos en que se han logrado progresos, han quedado demostradas las ventajas de la participación del público en todo el proceso de adopción de decisiones. En la actualidad, se admite sin reservas el beneficio de la comunicación y de la participación del público.

Existe todavía la necesidad de un consenso internacional sobre normas y criterios de seguridad en relación con la disposición final geológica. Dicho consenso tendrá que evolucionar paralelamente a un proceso de consultas.

■ **Almacenamiento perpetuo.** La Conferencia destacó que el almacenamiento perpetuo de desechos radiactivos no es una práctica sostenible y no ofrece solución alguna para el futuro; más bien, es una fase intermedia en la gestión integrada de los desechos radiactivos. Aunque el almacenamiento vigilado, recuperable y pasivamente seguro de desechos puede lograrse durante décadas, deben realizarse progresos hacia el establecimiento de la disposición final.

El almacenamiento no debe utilizarse como un "compás de espera" sin final; siempre existirán avances que pueden esperarse en el futuro, y el incentivo y la determinación de proceder a la disposición final podrían perderse, lo que sin un control eficaz podría conducir a un comportamiento degradado con respecto a la seguridad y a perjuicios ambientales. Los participantes señalaron además que el almacenamiento a largo plazo no es un proceso sencillo ni barato y que requerirá el control institucional por un organismo con los conocimientos, experiencia y recursos financieros necesarios. Las investigaciones han indicado que el almacenamiento puede seguir siendo seguro durante muchos decenios, siempre que se mantenga el control. No obstante, aun cuando los adelantos tecnológicos

contribuyesen a la viabilidad del almacenamiento seguro durante largos períodos, las cuestiones relativas al mantenimiento del control institucional podrían ser un factor limitativo.

■ **Recuperabilidad de los desechos que han sido objeto de disposición final.** La Conferencia examinó con cierto detalle la polémica cuestión de la recuperabilidad de los desechos que han sido objeto de disposición final. Se reconoce ampliamente que ciertas disposiciones explícitas en el diseño y construcción de repositorios geológicos para la recuperabilidad de los desechos son un medio importante de promover la confianza del público en la posibilidad de mantener los desechos radiactivos en condiciones de seguridad, y de evitar opciones de las que se excluyan a las futuras generaciones.

Ahora bien, esto debe lograrse sin comprometer la seguridad a largo plazo del repositorio, y no se debería suprimir el requisito de evaluar la seguridad e idoneidad a largo plazo del repositorio, antes de que comience la colocación de desechos. Es importante tener en cuenta que mientras se mantenga la recuperabilidad será necesario el control institucional para proteger al público y al medio ambiente. Dichos controles deberían estipular las salvaguardias nucleares necesarias para repositorios que contengan combustible gastado u otros materiales fisiónables.

■ **Repositorios internacionales.** Los repositorios internacionales podrían finalmente ofrecer la posibilidad de la disposición final geológica a países que no tienen formaciones geológicas adecuadas en su propio territorio. Podrían ofrecer también a países con pequeñas cantidades de desechos la oportunidad de mancomunar los recursos económicos y técnicos, en vez de desarrollar cada uno su propio programa de repositorios, y esta cooperación podría contribuir a un consenso de base más amplia

sobre las cuestiones de la seguridad de los desechos.

No obstante, la Conferencia concluyó que, al parecer, existen escasas perspectivas de que dichos proyectos logren la aceptación del público, hasta que algunos repositorios geológicos nacionales hayan demostrado su éxito.

Además, podría ser contraproducente promover este concepto en estos momentos, pues podría obstaculizar los programas nacionales de repositorios.

■ **Gestión segura de fuentes radiactivas.** La Conferencia recomendó que la disposición final segura de las fuentes radiactivas en desuso sea básicamente una responsabilidad nacional. Si esas fuentes en desuso se almacenan por largos períodos, aumentará la probabilidad de que de un modo u otro se pierda el control. El precio de compra de las fuentes debería incluir tal vez alguna provisión para el posible costo de la disposición final.

En el caso de países que no disponen de instalaciones de disposición final, la disposición final segura supondrá, en la mayoría de los casos, la transferencia de las fuentes a otro país, normalmente el país proveedor, que tiene la infraestructura necesaria para la disposición final de las mismas en condiciones de seguridad. Una alternativa posible sería concebir métodos económicos para la disposición final segura de las fuentes. Una alternativa en desarrollo es el llamado "concepto de pozo de sondeo".

En lo que se refiere a la posibilidad de devolver las fuentes a los proveedores, la Conferencia recaló que, en muchos casos, el proveedor de una fuente no es la misma entidad que el fabricante original. El sistema jurídico de su país impide a algunos proveedores aceptar fuentes devueltas, y otros se han mostrado reacios a comprometerse a ello. Este problema podría mitigarse si la atención se centrara en las fuentes

que representan el mayor riesgo, es decir, clasificar las fuentes en categorías, y procurar compromisos, como mínimo, de aceptar la devolución de estos tipos de fuentes. Cuando los proveedores abandonan el mercado, es preciso que los Estados proporcionen un "apoyo" para garantizar que no se permite que, como resultado, las fuentes queden fuera de control.

La Conferencia expresó su apoyo al *plan de acción del Organismo para la seguridad de las fuentes de radiación y la seguridad de los materiales radiactivos* y su interés en la elaboración en curso de un *código internacional de conducta* en esta esfera.

■ **Movimiento transfronterizo de desechos radiactivos.** La Conferencia examinó el movimiento transfronterizo de desechos radiactivos, es decir, desechos desplazados de una jurisdicción, a saber, la del país de origen, a otra jurisdicción, a saber, la del país de destino. Dicho movimiento se realiza frecuentemente a través de una o más jurisdicciones distintas de las anteriores, la jurisdicción del país o las jurisdicciones de los países de tránsito, o la de alta mar. Por lo tanto, inevitablemente se aplican diferentes regímenes jurídicos en diferentes etapas del movimiento de dichos materiales. Esto, a su vez, requiere una armonización internacional amplia en esta esfera.

En la esfera nuclear dicha armonización está comparativamente muy avanzada, como queda demostrado por los documentos internacionales de consenso tales como el *Reglamento para el transporte seguro de materiales radiactivos*, del OIEA. La responsabilidad de la observancia de esas normas internacionales para el transporte de materiales radiactivos por medios marítimos incumbe al Estado de abanderamiento, aunque se espera que la Organización Marítima Internacional (OMI) haga obligatoria, en breve, la observación de dichas normas.

La Conferencia apuntó que no existe ningún requisito general según el derecho internacional para la aprobación por Estados costeros de las expediciones de desechos radiactivos a través de sus aguas territoriales, con tal de que se adopten las precauciones de seguridad necesarias. Actualmente, la responsabilidad civil se rige, en gran medida, por el derecho internacional privado, con todas las incertidumbres que se derivan del mismo para las víctimas potenciales. Dado el papel que dichas incertidumbres desempeñan en el fomento de la oposición al transporte internacional de desechos radiactivos, una mayor adhesión al régimen internacional de responsabilidad nuclear ayudaría a lograr una aceptación más amplia de dicho transporte. El transporte internacional de materiales radiactivos tiene un excelente historial de seguridad. No obstante, existe una amplia disparidad entre la percepción del público y la realidad a este respecto. Es necesario un diálogo constructivo y abierto con los interesados directos, para explicar el régimen --aunque a veces complicado--, de transporte internacional de materiales radiactivos, incluidos los desechos, y el historial de seguridad de dicho régimen.

■ **Régimen Internacional para la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos.** Un importante resultado de la Conferencia fue su apoyo al régimen internacional para la seguridad en la gestión de los desechos radiactivos del OIEA (*véase el recuadro de la página 18*), a saber: i) la Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos, como instrumento jurídico estimulador que presupone un elevado grado de compromiso por las Partes Contratantes en cuanto a la gestión segura de desechos radiactivos; ii) las normas internacionales de seguridad ya

existentes; y iii) los mecanismos internacionales para proveer la aplicación de esas normas internacionales de seguridad.

La Convención Conjunta impone compromisos nacionales vinculantes, respaldados mediante exámenes internacionales por homólogos, para lograr objetivos de seguridad internacionalmente y, por lo tanto, proporciona un mecanismo para promover la confianza en los programas nacionales.

La Conferencia observó que actualmente existe una base bien establecida y comprendida para elaborar estructuras nacionales legislativas y regulatorias para la gestión segura de los desechos radiactivos. La globalización económica ha aumentado los beneficios potenciales de las normas de seguridad internacionalmente armonizadas. Ahora bien, las perspectivas para la adopción de dichas normas son limitadas, porque algunos países consideran que adoptar dichas normas podría ir en detrimento de su soberanía nacional. Este aparente conflicto entre la armonización internacional y la soberanía nacional es una cuestión política fuera del alcance de la comunidad técnica.

PERSPECTIVAS: DESHACIENDO EL NUDO

El futuro de la disposición final de los desechos radiactivos y, por consiguiente, de la energía nuclear son importantes cuestiones de la agenda internacional. El OIEA puede servir de catalizador en la búsqueda de un consenso que desde hace tiempo la comunidad internacional ha estado eludiendo.

En el discurso inaugural que pronunció en la Conferencia de Córdoba, el Representante Residente de los Estados Unidos ante el OIEA, Embajador John B. Ritch, nieto, indicó que en el ámbito de la energía nuclear, se necesita un amplio debate en dos sentidos. Es preciso contar con

REGIMEN INTERNACIONAL PARA LA SEGURIDAD EN LA GESTION DE DESECHOS RADIACTIVOS

Se está fomentando un *régimen internacional para la seguridad en la gestión de desechos radiactivos* bajo la égida del OIEA. El régimen comprende tres elementos clave: *compromiso con instrumentos internacionales con fuerza jurídica obligatoria entre los Estados; establecimiento de normas internacionales de seguridad de los desechos acordadas a nivel mundial; y disposiciones para la aplicación de dichas normas.*

■ **Compromiso con instrumentos internacionales de seguridad con fuerza jurídica obligatoria.** En los últimos años, los compromisos contraídos por los Estados han venido a desempeñar un papel crucial en el mejoramiento de la seguridad nuclear, radiológica y de los desechos. El OIEA ayuda al proceso, facilitando esos acuerdos y desempeñando diversas funciones para las Partes Contratantes una vez que los acuerdos están en vigor. Esas funciones incluyen actuar de Secretaría para las Partes y prestarles servicios previa solicitud; en lo que respecta a la seguridad de los desechos, uno de esos acuerdos es la *Convención Conjunta sobre seguridad en la gestión del combustible gastado y sobre seguridad en la gestión de desechos radiactivos*, que los Estados aprobaron en 1997.

■ **Establecimiento de normas internacionales de seguridad de los desechos.** En atención a las necesidades de sus Estados Miembros, el OIEA ha elaborado y publicado más de 200 normas de seguridad radiológica y nuclear, incluidas normas sobre la seguridad en la gestión de desechos radiactivos. Las primeras normas de seguridad específicas

para los desechos radiactivos se publicaron pocos años después de la creación del OIEA. Ya en el decenio de 1980, el OIEA había creado un cuerpo de normas especiales que tuvieron gran difusión, denominado "Normas de seguridad para la gestión de desechos radiactivos" (RADWASS). Un documento fundamental de esta colección, *Principios para la gestión de desechos radiactivos*, se publicó en 1995, y sirvió de base técnica para la Convención Conjunta. (Véase el artículo de la página. 24.)

■ **Disposiciones para la aplicación de normas de seguridad.** La estrategia del OIEA para velar por la aplicación de las RADWASS se centra en cinco esferas principales de actividad:

- fomentar el intercambio sistemático de información sobre seguridad de los desechos,
- promover la educación y capacitación en materia de seguridad de los desechos,
- apoyar y coordinar actividades de investigación y desarrollo relacionadas con la seguridad de los desechos.
- proporcionar programas de cooperación y asistencia para la aplicación de las normas de seguridad de los desechos, y
- prestar servicios pertinentes a los Estados Miembros previa solicitud.

La comunidad internacional puede utilizar este régimen internacional como mecanismo para lograr la gestión segura de los desechos radiactivos y facilitar la solución de problemas conexos.

una amplia participación que abarque los gobiernos, los explotadores, la industria, los reguladores, las organizaciones no gubernamentales, los expertos respetados y los grupos de ciudadanos, en fin, a todos y cada uno de los que sirven de portavoz de la opinión pública o influyen en ella. También se requiere una amplia variedad de temas, de modo que el diálogo público rebasa la estrecha y polémica cuestión de dónde y cómo se almacenarán los desechos. El debate debe ser holístico, incluido un análisis pleno y realista de las alternativas energéticas, encaminado, entre otras cosas, a determinar una función aceptada y razonable para la energía nucleoelectrónica y sus subproductos.

El Embajador recurrió a una adecuada analogía para describir la

situación, recordando que, según la mitología griega, un oráculo predijo que quien pudiera deshacer el tan enmarañado nudo gordiano, gobernaría toda Asia. Conforme a la leyenda, Alejandro Magno sencillamente cortó el nudo con su espada y alcanzó la vaticinada gloria. La metáfora de resolver los problemas con soluciones rápidas y hábiles es oportuna. En la actualidad, cuando se enfrenta el desafío de lograr un consenso en torno al polémico debate sobre la gestión de los desechos radiactivos y el desarrollo nuclear con fines pacíficos, no se dispone de una solución fácil como ésa.

Como concluyó el Embajador Ritch, si queremos regir nuestro destino y orientarnos racionalmente con miras a satisfacer la imperiosa necesidad de producir una energía de mayor volumen y más inocua, no lo lograremos haciendo caso omiso

del actual punto muerto en que nos encontramos. Los obstáculos no se pueden pasar por alto ni eliminar. Debemos deshacer el nudo gordiano, cuidadosamente y con esfuerzo, aprovechando bien y sabiamente todos nuestros recursos e instituciones democráticas.

El OIEA puede ser el tan necesario *foro de partes interesadas* para fomentar un consenso que incluya a todas esas partes, un consenso que permita lograr soluciones aceptables para todos los tipos de desechos radiactivos y que pasen la prueba del tiempo. □

--En septiembre de 2000, en la Conferencia General del OIEA, un foro científico sobre cuestiones relativas a la gestión de los desechos radiactivos reúne a expertos y autoridades de distintas organizaciones y de los 130 Estados Miembros del Organismo.