EVALUANDO DESECHOS DE CADENAS DEL COMBUSTIBLE PARA LA GENERACION DE ELECTRICIDAD

BUSQUEDA DE PUNTOS EN COMUN

POR ROGER SEITZ

Habitualmente se realizan evaluaciones de la seguridad de la disposición final de desechos radiactivos procedentes de la cadena del combusible nuclear, y, con frecuencia, se someten a un exhaustivo debate público. Sin embargo, comúnmente esas evaluaciones no se realizan respecto de la disposición final de desechos no radiactivos y peligrosos o de desechos que tienen elevadas concentraciones de materiales radiactivos de origen natural por efecto de la explotación de recursos naturales. La lógica de esta disparidad no está clara, porque muchos de esos desechos contienen sustancias que, cuando no se manipulan adecuadamente, plantean riesgos potenciales para la sanidad humana por períodos muy dilatados.

Cuando se comparan las opciones energéticas, es importante conocer la seguridad de las prácticas de disposición final de desechos procedentes de todas las cadenas del combustible para la generación de electricidad (incluidos la extracción, el tratamiento del combustible, la explotación de centrales y su clausura). Con ese fin, el OIEA patrocina un proyecto de Información relacionada con la seguridad sobre los desechos procedentes de diferentes sistemas de generación de energía, en el marco de su Programa general para la evaluación comparativa de las fuentes de energía.

Los objetivos que se persiguen son proporcionar información acerca de las cantidades, características y prácticas de disposición final asociadas a las cadenas del combustible, así como examinar los enfoques de evaluación y comparar las repercusiones en la salud humana y el medio ambiente. Se ha iniciado un programa cooordinado de investigaciones (PCI) como parte de la labor encaminada a proporcionar información y experiencia práctica para la solución de cuestiones importantes de las evaluaciones comparativas.

Los desechos procedentes de las cadenas del combustible nuclear y no nuclear contienen mezclas de sustancias radiactivas y no radiactivas. Por ello, es importante la necesidad de disponer de métodos armonizados para evaluar, *sobre una base común*, los efectos potenciales de las sustancias radiactivas y no radiactivas que pueden depositarse en diversas instalaciones de disposición final. El presente artículo trata sobre propuestas actuales destinadas a resolver los principales problemas que surgen en la elaboración de un enfoque armonizado para evaluar las repercusiones de diferentes prácticas de disposición final de desechos para la sanidad humana. También se incluyen en este proyecto, aunque no se analizan en el presente artículo, los efectos ecológicos y ambientales —como las repercusiones en la flora y la fauna, y en el uso de la tierra— al igual que los efectos de las descargas procedentes de instalaciones en explotación.

Cooperación internacional. Además del OIEA, hay varias organizaciones internacionales que abordan cuestiones relacionadas con las repercusiones para la salud y el medio ambiente de la disposición final de desechos radiactivos y otros desechos peligrosos; entre ellas figuran la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR), el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR), la Comisión Europea (CE), el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (OCDE). Los aportes de estas organizaciones se utilizan, según proceda, en el curso del proyecto del OIEA.

Por ejemplo, en el caso de las sustancias radiactivas, la CIPR especifica las funciones dosis-respuesta, y éstas se incluyen en las directrices del OIEA para la práctica internacional. En cuanto a las sustancias no radiactivas, las organizaciones internacionales y las autoridades reguladoras nacionales utilizan diferentes métodos y datos para obtener las funciones dosis-respuesta.

El Sr. Seitz es funcionario de la División de Seguridad Radiológica y de los Desechos, del OIEA.

EVACUACION DE DESECHOS EN LA SUPERFICIE

La disposición final en la superficie al descubierto es un sistema aplicado a determinadas categorías de desechos, el cual brinda una protección a largo plazo mínima. Se supone que los desechos líquidos o sólidos no estabilizados están distribuidos por el suelo que no dispone de ningún tipo de cubierta ni dispositivos técnicos (podría considerarse un revestimiento para confinamientos superficiales). Esto podría aplicarse como práctica prevista u ocurrir, con el tiempo, por erosión del material de la cubierta y/o degradación de las barreras artificiales en el caso de una instalación de disposición final a poca profundidad.

Fotos: Arriba a la izquierda, los desechos procedentes de la generación de energía a base de petróleo o gas pueden evacuarse mediante las llamadas técnicas agrícolas. Abajo a la izquierda, vista aérea de un depósito temporal de decantación de residuos del tratamiento del uranio, que será drenado y cubierto con una barrera artificial de varias capas cuando se cierre.

EJEMPLOS DE PRACTICAS DE EVACUACION DE DESECHOS SOLIDOS PROCEDENTES DE LAS CADENAS ENERGETICAS DEL COMBUSTIBLE*

	Disposición final en la superficie terrestre**	Disposición final a poca profundidad***	Disposición final geológica	Disposción final en el océano y el mar
Nuclear				
- radiactivos		■	■	
- no radiactivos		■	■	
Carbón/lignito				
- radiactivos	■	■	■	
- no radiactivos	■	■	■	
Petróleo/gas natural				
- radiactivos	■	■	■	■
- no radiactivos	■	■	■	■

*Incluye desechos sólidos procedentes de las cadenas del combustible (no incluye los desechos procedentes de las actividades de transporte, mantenimiento, construcción, etc.)
**Disposición final sin cubierta.
***Incluye disposición final en la superficie terrestre (rellenos cubiertos, etc.) y disposición final a algunas decenas de metros de profundidad (se supone que todas las instalaciones de disposición final a poca profundidad están provistas de dispositivos para cubrir los desechos).

Cuestiones importantes. Es preciso resolver varias cuestiones a fin de poder evaluar, sobre una base común, los efectos para la salud asociados a la disposición final de desechos sólidos procedentes de diferentes cadenas del combustible para la generación de electricidad.

Dos de estas cuestiones se abordan en el presente artículo.

La primera se refiere a la elaboración de un enfoque flexible para armonizar las evaluaciones de una amplia variedad de diferentes tipos de desechos, prácticas de disposición final y condiciones ambientales asociados a las cadenas del combustible para la generación de electricidad. *(Véanse el recuadro y las fotos de esta página*

DISPOSICION FINAL DE DESECHOS CUBIERTOS

El enfoque de disposición final "a poca profundidad" es un sistema que brinda grados variables de protección a largo plazo. Los desechos estabilizados (por ejemplo, lechada de cemento, betún) o inestabilizados se entierran cerca de la superficie del suelo (por encima o por debajo del nivel freático). Se supone que deben cubrirse con tierra y rocas limpias o cubiertas artificiales de capas múltiples más complejas cuando se cierren. En este enfoque, también puede incluirse la disposición final en bultos de desechos especializados y/o cámaras de hormigón.

Fotos: Arriba a la derecha, emplazamiento para la disposición final de desechos de actividad intermedia y baja. Se utilizan cámaras de hormigón o bultos que se cubren para impedir escapes durante las operaciones de disposición final. Al cerrarse el emplazamiento, se añade una cubierta artificial de varias capas. Abajo a la derecha, vertedero de cenizas de carbón y desechos de minas; no hay barreras artificiales.

y de las páginas 37 y 38.) La segunda tiene que ver con la necesidad de un enfoque para comparar los efectos de los radionucleidos y las sustancias no radiactivas para la salud.

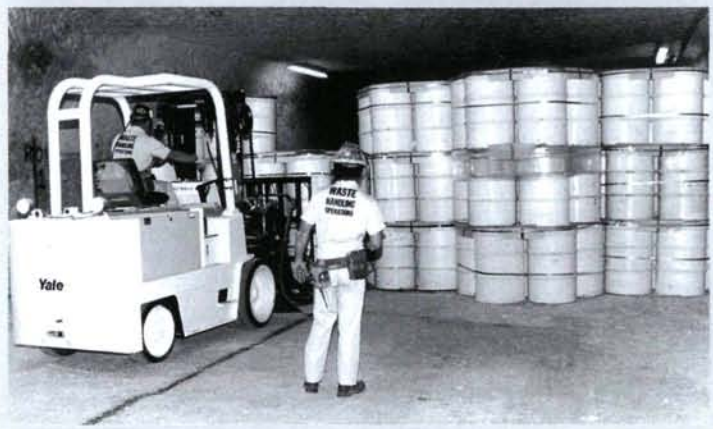
DIFERENCIAS Y SIMILITUDES

La gestión de desechos asociada a las cadenas del combustible para la generación de electricidad comprende una variedad de desechos de diferentes formas, instalaciones para la disposición final y entornos locales (véase el *Boletín del OIEA,* Vol. 38, No. 2, 1996).

Las repercusiones que puede tener para la salud la disposición final de cualquier tipo de desechos dependen de una combinación de factores relacionados con estas diferencias, lo que plantea un difícil problema para las evaluaciones comparativas. Entre dichos factores están la cantidad de desechos, la toxicidad y concentración de los contaminantes presentes en los desechos, las características físicas y químicas de los desechos, la presencia o ausencia de barreras alrededor de los desechos evacuados, las condiciones ambientales y las características demográficas y hábitos de las personas que viven cerca del emplazamiento de desechos.

Sustancias radiactivas y no radiactivas. Muchos desechos procedentes de las cadenas del combustible para la generación de electricidad contienen una mezcla de sustancias radiactivas y no radiactivas. Por ejemplo, los desechos de la cadena del combustible nuclear pueden contener metales tóxicos y/o sustancias orgánicas peligrosas, además de radionucleidos.

En los desechos procedentes de las cadenas del combustible no nuclear suele haber radionucleidos provenientes de materiales radiactivos de origen natural que se extraen junto con el combustible u otras materias primas y se concentran en los desechos. Por tanto, la capacidad para evaluar sobre una base común, los efectos de las sustancias radiactivas y no radiactivas favorecería las evaluaciones comparativas. La



DISPOSICION FINAL DE DESECHOS A GRAN PROFUNDIDAD

La disposición final geológica de desechos es un sistema que brinda gran protección a largo plazo. Los desechos sólidos, estabilizados o no estabilizados, se colocan en cavidades abiertas a mucha profundidad o, si son desechos líquidos y en forma de fangos, se inyectan en formaciones geológicas a varios cientos de metros o más de profundidad. Estos enfoques pueden incluir el uso de barreras artificiales como cámaras de hormigón, bultos de desechos o pozos o galerías selladas especialmente diseñados al efecto.

Fotos: Arriba a la izquierda, disposición final de desechos de actividad baja e intermedia en formaciones rocosas duras. Abajo a la izquierda, disposición final de desechos radiactivos y no radiactivos peligrosos en formaciones salinas.

solución de este problema recibe una atención prioritaria en las actividades coordinadas de investigación relacionadas con el proyecto del Organismo.

Similitudes y diferencias. Aunque a menudo se piensa que las sustancias radiactivas son muy diferentes de las sustancias no radiactivas, en realidad son muy similares. *(Véase el recuadro de la página 39.)*

En relación con su comportamiento en el medio ambiente, algunos radionucleidos son persistentes y requieren prácticas de disposición final que conserven su efectividad durante plazos más largos (por ejemplo, los que tienen períodos de semidesintegración prolongados como el carbono 14, el yodo 129, el plutonio 239, el radón 226 y el torio 232). Este es el caso también de muchas sustancias no radiactivas (por ejemplo, los metales, que no se desintegran ni se degradan).

Hay otros radionucleidos y varias sustancias no radiactivas que se desintegran en un período relativamente breve (por ejemplo, los radionucleidos de período corto, como el cobalto 60, el cesio 137, el estroncio 90 y las materias orgánicas degradables). Los efectos potenciales de su disposición final pueden eliminarse en lo esencial vigilándolos hasta que alcancen niveles seguros tras su desintegración o degradación.

En relación con los efectos para la salud, los radionucleidos y diversas sustancias no radiactivas son conocidos como agentes carcinógenos genotóxicos y, por tanto, es posible elaborar modelos de sus efectos para la salud de forma análoga. La determinación de esas similitudes es un paso importante en la armonización de la evaluaciones de desechos que contienen sustancias radiactivas y no radiactivas. Existen algunas diferencias entre estas sustancias que dificultan la formulación de un enfoque de evaluación armonizado.

Una de las cuestiones más problemáticas es la relacionada con las diferencias en cuanto a efectos para la salud que puedan derivarse de la exposición a diferentes sustancias. La formación de cáncer es un efecto que se atribuye a los radionucleidos y a muchas sustancias no radiactivas.

Sin embargo, hay otros efectos que pueden derivarse de la exposición a sustancias no radiactivas presentes en los desechos de las cadenas del combustible para la generación de electricidad (por ejemplo, insuficiencia renal, daño cerebral, efectos de la reproducción). Por lo general, los efectos genotóxicos, como el cáncer, se tratan de una forma diferente a los demás tipos de efectos. Estas dos categorías de efectos pueden denominarse efectos sin umbral y umbral.

Generalmente, se da por sentado un modelo lineal sin umbral para los agentes carcinógenos genotóxicos. Este

SUSTANCIAS QUE ENTRAÑAN PELIGROS POTENCIALES PARA LA SANIDAD HUMANA Y EL MEDIO AMBIENTE

	Sustancias radiactivas	Sustancias no radiactivas
De origen natural en la tierra	uranio 238, torio 232 y descendientes (por ejemplo, radio 226)	arsénico, cadmio, cromo, níquel
Sustancias persistentes*	plutonio 239, yodo 129, carbono 14 (desechos de instalaciones nucleares) radio 226, torio 232 (desechos procedentes de materiales radiactivos de origen natural)	arsénico, cadmio, cromo, mercurio niquel, BPCs
Sustancias de período corto**	cobalto 60, cesio 137, estroncio 90	benceno, tolueno, cloruro de vinilio
Transformación en sustancias que entrañan mayor peligro	plutonio 241 se desintegra en neptunio 237, radio 226 se desintegra en radón 222, bismuto 214 y plomo 210	arsénico o mercuro inorgánicos convertidos en formas de metilato por efecto de bacterias. Oxidación de benzopirina

* si las concentraciones son significativas, deben aislarse por períodos más prolongados
**deben aislarse durante el tiempo necesario para que alcancen niveles aceptables por efecto de la desintegración o degradación

modelo supone que existe una creciente probabilidad de incidencia de cáncer a medida que aumenta la dosis (es decir, cualquier dosis tiene alguna probabilidad de provocar cáncer, aunque las probabilidades son muy pocas con dosis bajas).

Se supone que todos los radionucleidos y muchas sustancias no radiactivas (por ejemplo, arsénico, benceno, níquel) son agentes carcinógenos genotóxicos. En ambos casos, se determinan funciones dosis-respuesta específicas para determinadas sustancias que indican que un nivel de exposición o de dosis dado representa riesgo de cáncer.

Los datos epidemiológicos de las exposiciones de personas y/o los datos de laboratorio obtenidos mediante estudios con animales se utilizan, generalmente, como base fundamental para las funciones dosis-respuesta.

En cuanto a los efectos umbral, se ha comprobado que hay un nivel de dosis o de exposición por debajo del cual no se observan efectos. Las distintas organizaciones utilizan una terminología diferente para representar estas dosis o exposiciones umbral. El establecimiento de un valor umbral desde el punto de vista reglamentario no está normalizado entre las diversas organizaciones que realizan las evaluaciones.

EN FAVOR DE UN ENFOQUE ARMONIZADO

Las dos cuestiones importantes indicadas hasta ahora en el presente artículo se relacionan con 1) la necesidad de disponer de un enfoque de evaluación armonizado para evaluar una amplia variedad de desechos y prácticas de disposición final, y 2) el deseo de contar con un enfoque para la comparación de los efectos de los radionucleidos y las sustancias no radiactivas sobre una base común. Se encuentran en estudio varios enfoques destinados a zanjar estas dificultades.

Establecimiento de prácticas de disposición final y biosferas de referencia. Los desechos procedentes de las cadenas del combustible para la generación de electricidad pueden ser líquidos o sólidos. Además, pueden solidificarse en matrices sólidas y colocarse en distintos tipos de contenedores. Asimismo, los desechos pueden estar o no rodeados de barreras artificiales y ser evacuados en la superficie terrestre sin cubierta, con cubierta en la superficie o a determinada profundidad, cerca de la superficie, o en formaciones geológicas.

Como ya se señaló, cada uno de estos factores puede influir en los efectos potenciales para la salud y el medio ambiente asociados a un determinado concepto de disposición final. El OIEA tiene en preparación un conjunto de categorías de desechos y métodos de disposición final de referencia, acorde con las prácticas o los planes típicos, para facilitar un enfoque de evaluación armonizado. A fin de hacer más coherentes las evaluaciones de diferentes prácticas de disposición final de desechos, se están determinando las vías de transporte de contaminantes y los escenarios de exposición pertinentes para cada una de las combinaciones aplicables de formas de los desechos y prácticas de disposición final de referencia.

Se han propuesto tres tipos diferentes de prácticas de disposición final de referencia: disposición final superficial (sin cubierta), disposición final a poca profundidad y disposición final geológica. Se delimitan estas categorías independientes porque, por ejemplo, las posibles vías de transporte (aire, aguas subterráneas, aguas superficiales, etc.) y los escenarios de exposición (agua potable, alimentos contaminados, contacto directo con los desechos y otros) que es preciso analizar en cada caso, están muy vinculados al tipo de instalación de disposición final.

Por ejemplo, la inhalación o ingestión de partículas de desechos (suspendidas) en el aire, el transporte directo de contaminantes de los desechos en aguas superficiales, el transporte de desechos por erosión e ingestión directa de éstos (ingestión de tierra), son admisibles sólo en el caso de desechos depositados en la superficie terrestre sin cubierta.

Cada una de estas tres categorías comprende una serie de formas de desechos y/o barreras artificiales diferentes. Estas incluyen cubiertas y otras barreras capaces de influir en las vías de transporte y los escenarios de exposición, que es necesario considerar en cada caso específico.

Por ejemplo, la encapsulación de desechos en un contenedor de hormigón inyectado con lechada de cemento y la colocación de dicho contenedor en una cámara de hormigón, reduciría de modo significativo, o impediría, las emisiones de contaminantes durante la vida útil del contenedor. Asimismo, no podría haber contacto directo con los desechos mientras las barreras de hormigón permanecieran intactas, incluso aunque la cubierta se erosionara. Por tanto, es preciso determinar las vías de transporte y los escenarios de exposición pertinentes teniendo en cuenta las formas de los desechos y las prácticas de disposición final en el marco propuesto.

La parte final del marco armonizado es la elaboración de las biosferas de referencia que habrán de utilizarse para las evaluaciones. Entre las propuestas actuales se encuentra la elaboración de múltiples biosferas de referencia a fin de representar diferentes condiciones climáticas (por ejemplo, tropicales, templadas) y características y hábitos humanos (teniendo en cuenta principalmente las recomendaciones de la CIPR, pero también posibles variantes para reconocer diferencias culturales concretas).

Un conjunto limitado de biosferas de referencia debería proporcionar suficientes opciones para representar las condiciones de vida de diferentes culturas y climas. Los resultados específicos por países de los estudios de caso experimentales que se realizan como parte del proyecto del OIEA, se aplicarán junto con los resultados de anteriores proyectos del Organismo (llamados BIOMOVS y BIOMASS) para establecer biosferas de referencia, que se utilizarán en las evaluaciones comparativas.

En general, es preciso que el marco armonizado permita diferenciar los beneficios de los diferentes niveles de contención o confinamiento de los desechos, lo cual es decisivo en el contexto de una evaluación comparativa. Además, el marco garantizará algún nivel de coherencia en las hipótesis que se hagan acerca de las vías de transporte y los escenarios de exposición. Este es un aspecto importante, puesto que se espera que muchos analistas diferentes harán comparaciones.

Base común para la comparación de los efectos para la salud. Como se señaló anteriormente, los efectos en la salud pueden dividirse en dos categorías generales (efectos umbral y sin umbral). Será preciso considerar los efectos sin umbral en el caso de los radionucleidos y ambas categorías de efectos (según la sustancia) en el caso de las sustancias no radiactivas contenidas en las emisiones de los desechos procedentes de las cadenas del combustible para la generación de electricidad.

El primer paso es tratar de encontrar un enfoque general para comparar, sobre una base común, los efectos sin umbral de los radionucleidos y las sustancias no radiactivas. Posteriormente, será necesario encontrar un enfoque para comparar estos efectos sin umbral con los efectos umbral resultantes de la exposición a algunas sustancias no radiactivas. El objetivo central de los estudios de caso experimentales que se realizan como parte de los programas coordinados de investigación del OIEA es adquirir experiencia práctica en la aplicación de diferentes enfoques de comparación a una variedad de desechos distintos.

Se da por sentado que, en cuanto al riesgo de cáncer, los radionucleidos y las sustancias no radiactivas consideradas agentes carcinógenos genotóxicos tienen funciones de dosis-respuesta basadas en el modelo lineal sin umbral. A primera vista parece posible hacer una comparación directa de los efectos para la salud sencillamente comparando los riesgos de cáncer.

Sin embargo, de adoptarse tal enfoque, cabría reconocer que la base de las funciones dosis-respuesta de los radionucleidos y las sustancias no radiactivas puede ser diferente. Las

RESULTADOS DEL PROYECTO

Hasta el presente, el trabajo realizado en el marco del proyecto del OIEA sobre desechos ha arrojado una serie de resultados interesantes. Dos de ellos se describen más abajo. Demuestran que, si bien no es usual que se evalúen pormenorizadamente los peligros potenciales asociados a la disposición final de desechos procedentes de las cadenas del combustibles no nucleares, merecen que se les preste la debida atención.

Los desechos procedentes de diferentes cadenas del combustible que contienen elevadas concentraciones de materiales radiactivos de origen natural (NORM), en general no se evalúan según el emplazamiento para determinar los peligros potenciales que entraña su disposición final. *(Véase una descripción de esos desechos en Boletín del OIEA, Vol 38, No. 2, 1996.)* Sin embargo, un cálculo bastante simple revela que muchos de estos desechos pueden llegar a contener dosis superiores a los límites establecidos por la CIPR.

El gráfico muestra los resultados de un cálculo de la dosis de radiación a que está expuesta una persona que reside en una zona donde se han esparcido desechos NORM sobre el suelo como resultado de actividades anteriores en un emplazamiento. Los resultados demuestran que una concentración de 1 Bq/g de torio 232 o radio 226 (la descendencia alcanza el equilibrio con el tiempo) en 15 centímetros de suelos superficiales produce dosis de más de 1 mSv/por año (el límite de dosis de la CIPR para prácticas) debido sólo a la vía de transferencia de dosis externa (también será preciso considerar las vías de inhalación e ingestión de radón en una evaluación amplia.) Ello indica que deberían evaluarse con mucho cuidado los peligros potenciales asociados a los desechos que contienen elevadas concentraciones de NORM para respaldar las decisiones sobre prácticas de gestión aceptables.

En cuanto a los peligros de los materiales no radiactivos, se realizó un interesante estudio para la CE, en el que se muestra la aplicación de técnicas utilizadas normalmente para evaluar desechos radiactivos en la evaluación de los peligros asociados a las sustancias no radiactvas contenidas en los desechos. En el marco del estudio, se utilizó una serie de cálculos para obtener un conjunto de "límites" de las concentraciones de sustancias no radiactivas contenidas en los desechos generados por la clausura de centrales nucleares, que pueden evacuarse en una instalación del tipo de cámara de hormigón. Mediante la aplicación de estos "límites" obtenidos, el estudio indica que, debido a la concentración de contaminantes no radiactivos en el acero generado por una clausura, quizás convendría evacuarlo en una instalación geológica. Como punto de comparación, los "límites" obtenidos mediante el estudio de la CE se compararon con las concentraciones de sustancias no radiactivas en otros desechos procedentes de la generación de electricidad, determinados en el curso de este proyecto. *(Véase el cuadro.)* De acuerdo con el razonamiento del estudio, el cuadro indica que una cámara de hormigón no proporciona suficiente aislamiento para algunas cenizas de carbón y algunos otros desechos comunes procedentes de las cadenas del combustible. Hoy día se suele evacuar las cenizas de carbón y otros desechos sin las ventajas que brindan las barreras adicionales de una cámara de hormigón; por tanto, en ese caso, los límites podrían ser más restrictivos que los obtenidos para una instalación del tipo de cámara de hormigón en el estudio de la CE.

Este ejemplo revela que los peligros asociados a la disposición final de desechos no radiactivos merecen ser considerados en una evaluación comparativa. Además, muestra que debe obrarse con cautela al sacar conclusiones de los cálculos preliminares para instalacions de disposición final de desechos. En general, el ejemplo subraya la importancia de que se realicen estudios específicos para emplazamientos, instalaciones y formas de los desechos antes de llegar a una conclusión definitiva sobre la seguridad de una determinada práctica de disposición final de desechos.

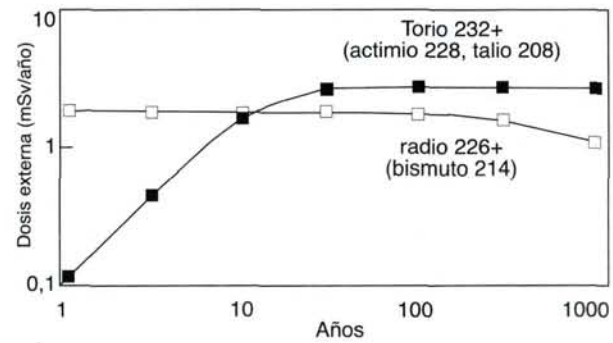
CONCENTRACIONES COMPARATIVAS DE LAS SUSTANCIAS CONTENIDAS EN DESECHOS PROCEDENTES DE LAS CADENAS DEL COMBUSTIBLE

Material	**Ejemplo de concentraciones** (mg/kg)		
	Cromo	**Mercurio**	**Níquel**
Cenizas de carbón/escoria	1 - 200	no notificado	50 -300
Lodos de lavados de CE	<1 - 10 000	0,1-3	28-20 000
Lodos de DGC	3 - 210	<1 - 70	20 - 240
Acero de clausura de CNE	3000	no notificado	2000
Cenizas/escoria de RSU	200 - 2300	50	50- 180
Lodos de refiinerías de petróleo	10 - 5080	2,1 - 41	40- 2000
"Límites"*	70	5	1000

*Concentraciones límite para la disposición final de desechos a poca profundidad, calculadas en el informe "Application of Procedures and Disposal Criteria Developed for Nuclear Waste Packages to Cases Involving Chemical Toxicity", Little *et al*, EUR 16745 EN, Comisión Europea (1996).

Notas: CE=central eléctrica; CNE=central nuclear; DGC=desulfuración de gases de combustión; RSU=residuos sólidos urbanos

EJEMPLOS DE DOSIS DE RADIACION EXTERNA PROVENIENTES DE MATERIALES RADIACTIVOS DE ORIGEN NATURAL



diferencias incluyen la aplicación de métodos diferentes para hacer extrapolaciones a partir de los efectos observados con dosis elevadas hasta los riesgos con dosis bajas, que son los más comunes en el caso de la disposición final de desechos.

La determinación de un enfoque para comparar los efectos sin umbral y umbral resulta más difícil.

Una de las propuestas entraña la comparación de una dosis umbral con una dosis que produzca un riesgo de cáncer específico. Esto supone la existencia de un determinado nivel de riesgo de cáncer equivalente a una dosis umbral.

La ventaja de este enfoque radica en que permite hacer una comparación bastante directa.

Sin embargo, también tiene algunas desventajas. Por ejemplo, induce a debate en cuanto al valor del riesgo de cáncer que deberá compararse directamente con un umbral. Además, entraña la comparación de datos observados de manera experimental (en el caso de los efectos umbral) con datos de riesgo de cáncer que, en algunos casos, se extrapolan de dosis mucho más elevadas en las cuales se han observado los efectos realmente.

También están en estudio otros dos tipos generales de enfoques de comparación, conocidos como enfoques basados en el "margen de protección" y en el "margen de exposición"

El primero entraña la comparación de una dosis prevista para una sustancia con un criterio específico sobre la sustancia adoptado por una organización internacional o una autoridad reguladora nacional. Así se garantiza un método de comparación relativamente simple.

Una de sus desventajas es que las comparaciones no siempre se basarían en consideraciones relacionadas con la salud. Esto se debe a que, en una estructura de reglamentación, los criterios para las distintas sustancias pueden basarse, por ejemplo, en consideraciones estéticas, de costo-beneficio o de otro tipo, y no en las vinculadas estrictamente a la salud.

El segundo tipo de enfoque supone la comparación de pronósticos de exposiciones con exposiciones reales en el medio normal o con exposiciones en que se han observado efectos reales para la salud.

Su ventaja consiste en que la base de comparación está vinculada a exposiciones reales o a efectos para la salud reales y no a criterios deducidos.

Por ejemplo, la exposición prevista al arsénico o a las radiaciones de un desecho que ha sido evacuado se compararía con la exposición que cabría esperar para el arsénico o la radiactividad en el medio natural. Asimismo, con una perspectiva sanitaria más amplia, las exposiciones previstas podrían compararse con las exposiciones que han provocado los efectos observados para la salud. Este método podría utilizarse para evitar la necesidad de basar las decisiones en extrapolaciones de datos observados en altas dosis a efectos supuestos con dosis más bajas.

Este enfoque tiene varias desventajas, entre ellas, la implícita suposición de que, en el primer caso, los niveles naturales de exposición son aceptables y, en el segundo caso, que las dosis sólo son significativas a los niveles en que se han observado efectos (éste sería un aspecto muy polémico respecto de los agentes carcinógenos genotóxicos).

DIRECCIONES FUTURAS

Mediante las actividades apoyadas por el OIEA, se ha definido un conjunto de prácticas de disposición final y formas de desechos de referencia para conformar una propuesta. Se acompañan con recomendaciones relativas a las vías de transporte y los escenarios de exposición que deberían considerarse en cada caso. También se comenzó a trabajar en la elaboración de un conjunto de biosferas de referencia, que reflejen los climas y las condiciones de vida en diferentes regiones del mundo.

El trabajo futuro se concentrará en perfeccionar las instalaciones de disposición final de referencia y las opciones en cuanto a vías de transporte y escenarios de exposición mediante cálculos de ejemplos. Los resultados de los cálculos experimentales por país que se realizan como parte del programa coordinado de investigación del OIEA se utilizarán junto con los resultados de otros dos proyectos anteriores. La información servirá de material básico que facilitará la elaboración de biosferas de referencia para las evaluaciones comparativas.

Los cálculos que se realizan en el marco del programa coordinado de investigación ofrecerán también ejemplos detallados de la utilidad de los diferentes enfoques para calcular y comparar los efectos en la salud asociados a las mezclas de sustancias radiactivas y no radiactivas.

Estos resultados serán aportes decisivos para las propuestas de los enfoques que deberán utilizarse en los cálculos de las evaluaciones comparativas. Además, hay grupos de expertos dedicados a la evaluación de métodos para realizar esos cálculos y al examen de propuestas seleccionadas resultantes de éstas y otras actividades del proyecto. ❐