

# Repercusiones ambientales de las liberaciones radiactivas: Estudio de problemas mundiales

*La nueva información presentada en un simposio del OIEA está ayudando a la comunidad internacional a encarar problemas radioecológicos*

por Gordon  
Linsley

**D**urante el decenio posterior a la Conferencia de las Naciones Unidas sobre el Medio Humano, celebrada en Estocolmo en 1972, el OIEA organizó una serie de reuniones internacionales sobre temas relacionados con los radionucleidos y su comportamiento en el medio ambiente. En el clima de preocupación por el medio ambiente que generó esta Conferencia, las reuniones auspiciadas por el OIEA sirvieron de centro de coordinación para el debate internacional, así como para resumir el nivel de conocimientos alcanzado sobre el comportamiento de los radionucleidos en diferentes medios ambientales. En aquel momento, los Estados Miembros del OIEA dirigían una buena parte de sus investigaciones hacia el objetivo de llegar a conocer cómo se comportan los radionucleidos, en especial los radionucleidos de período largo, en los medios terrestre y acuático. El último simposio de esta serie de reuniones se celebró, en Knoxville, Tennessee, Estados Unidos, en 1981, bajo el título de "Migración ambiental de los radionucleidos de período largo".

Actualmente, se observa una nueva y creciente preocupación por el medio ambiente debido a diversas pruebas de que la actividad humana está afectando gravemente el medio ambiente. Todos conocemos los efectos de la contaminación regional y las posibles amenazas del calentamiento global y el agotamiento de la capa de ozono. Para abordar éstas y otras preocupaciones similares, las Naciones Unidas celebraron en 1992 su Conferencia sobre el Medio Ambiente y el Desarrollo en Río de Janeiro. También se ha observado un renovado interés en el contexto de los radionucleidos en el medio ambiente; sin embargo, en este caso el estímulo ha venido de otra dirección. El relajamiento de las tensiones entre los países del este y el oeste ha permitido disponer de mucha información desclasificada sobre cuestiones relativas a las liberaciones radiactivas y sus repercusiones en el

medio ambiente. Esta nueva fuente de información sobre el medio ambiente, junto con la proveniente del accidente de Chernobil, ha renovado el interés e incentivado la investigación sobre los radionucleidos en el medio ambiente en los últimos años. En muchos casos, la necesidad de conocer mejor el comportamiento de los radionucleidos en el medio ambiente se vincula a los planes para eliminar la contaminación ambiental ocasionada por las operaciones de producción de armamentos y de las etapas tempranas de desarrollo del ciclo del combustible nuclear.

Con estos acontecimientos en mente, el Organismo organizó en mayo de 1995, en Viena, el Simposio Internacional sobre las repercusiones ambientales de las liberaciones de radionucleidos\*, en el que participaron un total de 222 expertos de 39 países y cinco organizaciones internacionales. En el presente artículo se resumen aspectos destacados del Simposio relacionados con esferas temáticas seleccionadas que se trataron.

---

## Estudios en el medio marino

Desde que se conoció que se habían vertido desechos radiactivos de actividad alta y baja en las aguas poco profundas del mar de Kara en el Ártico por más de 30 años, se emprendieron muchos estudios para evaluar las consecuencias de dicho vertimiento. Poco después de las revelaciones hechas a finales de 1991 y 1992, el OIEA, en colaboración con los países afectados, inició un proyecto internacional con el que se proponía evaluar las repercusiones actuales, y las posibles repercusiones futuras, del vertimiento en la salud y el medio ambiente. Este proyecto, cono-

---

El Sr. Linsley es Jefe Interino de la Sección de Seguridad de Desechos del Departamento de Seguridad Nuclear del OIEA.

---

\* El OIEA publicó las Actas del *Simposio Internacional sobre las repercusiones ambientales de las liberaciones de radionucleidos*, celebrado del 8 al 12 de mayo de 1995, en Viena. Para pedir información, véase la sección "Publicaciones del OIEA" del *Boletín del OIEA*.

cido como el Proyecto Internacional de evaluación de los mares árticos (IASAP), aún está en marcha, pero en el Simposio se presentaron algunos resultados preliminares. En otras exposiciones realizadas por Noruega, la Federación de Rusia y el Laboratorio del OIEA para el Medio Ambiente Marino (IAEA-MEL) se describieron las labores realizadas por los cruceros de investigación en las zonas afectadas y los estudios experimentales conexos. Los cruceros han logrado localizar algunos de los desechos de actividad alta vertidos, y se han realizado mediciones *in situ*, así como en muestras tomadas en las proximidades de los objetos vertidos (submarinos, compartimientos de reactores, contenedores de desechos). Los estudios han demostrado que se puede detectar la contaminación cerca de algunos de los objetos, pero que poco o nada se puede detectar a distancias mayores de unas decenas de metros. Se ha llegado a la conclusión de que, dado que los desechos se hallan en regiones apartadas e inhóspitas, en estos momentos no plantean ningún peligro para la salud o el medio ambiente. Con todo, los posibles peligros que se podrían derivar de una fuga de radionucleidos de los desechos en algún momento futuro siguen siendo objeto de preocupación. Esta cuestión se está evaluando en el marco del IASAP, conjuntamente con un análisis de la viabilidad de adoptar medidas correctoras con relación a los desechos.

En la reunión sobre el medio marino también se presentaron exposiciones sobre el análisis de las repercusiones de las descargas procedentes de la planta de reelaboración de Sellafield, en el Reino Unido, tema que ha sido polémico en los últimos años. Las exposiciones se centraron en la evolución histórica del control de las descargas en el emplazamiento. Asimismo, demostraron cómo se han reducido drásticamente las descargas de los niveles alcanzados en el decenio de 1970 y principios de 1980 mediante la introducción de la tecnología de limpieza de efluentes. Al mismo tiempo, también se perfeccionaron e hicieron más sensibles los métodos de análisis de las repercusiones de las descargas sobre el medio ambiente.

Urbanas, Acuáticas (Lagos, Ríos y Reservorios) y Múltiples). Los ejercicios del VAMP brindaron una oportunidad singular para comprobar la exactitud de las predicciones de los modelos. En algunos casos, se presentaron los coeficientes de transferencia y los modelos existentes para ofrecer una representación lógica de la transferencia de radionucleidos en el medio ambiente. En otros casos, se demostró que las hipótesis genéricas anteriores relativas, por ejemplo, a los regímenes y fuentes de alimentación, no eran adecuadas para aplicarlas a un medio en particular. Una enseñanza general que se extrajo de esos estudios es que cada medio es diferente, a tal punto que es poco probable que se puedan hacer predicciones fiables de la transferencia de radionucleidos a los seres humanos sin conocer en detalle las características del medio ambiente y de los hábitos del grupo poblacional expuesto. En los estudios de comprobación de modelos se observó una tendencia general a hacer predicciones exageradas. Una de las razones más probables para ello está asociada al uso que normalmente se da a los modelos, es decir, los modelos generalmente se emplean para comparar las dosis de radiación que los grupos poblacionales críticos reciben de las liberaciones de radionucleidos procedentes de las prácticas de explotación, con los límites de dosis. En esta aplicación es necesario cerciorarse de que las dosis no excedan del límite de dosis, y de ese modo la hipótesis y los valores paramétricos en los modelos tiendan a seleccionarse de forma tal que resulten poco probables las estimaciones insuficientes.

Otra característica del programa VAMP, ilustrada en las exposiciones del Simposio, fue la oportunidad que brindó de examinar las técnicas más modernas en la elaboración de modelos de importantes procesos de transferencia. Los exámenes especializados realizados en el curso del programa VAMP se tradujeron en publicaciones del OIEA sobre la elaboración de modelos del proceso de resuspensión (suelo-aire), la intercepción y retención de radionucleidos en las superficies de las plantas, la transferencia en ecosistemas naturales, y la eficacia de los métodos de elaboración de alimentos para la eliminación de la contaminación con radionucleidos.

### Comprobación de modelos ambientales

La reunión sobre este tema se centró principalmente en el programa del OIEA denominado VAMP (Validación de las predicciones de modelos ambientales) ejecutado desde 1988 hasta 1994. El objetivo del programa fue aprovechar la extensa distribución de radionucleidos en el medio ambiente tras el accidente de Chernobil. Los resultados de los programas de vigilancia y medición subsiguientes sirvieron de base para comprobar las predicciones de los modelos matemáticos.

El programa VAMP demostró ser muy acertado y en él participaron mucho más de 100 científicos de numerosos países. En el Simposio se realizaron varias exposiciones basadas en los resultados de los cuatro grupos de trabajo del VAMP (Rutas Terrestres,

### Reconstrucción de la dosis de radiación

En los primeros años del desarrollo de las armas nucleares, las operaciones se encaminaban hacia objetivos productivos y por eso casi nunca se concedía alta prioridad a la gestión adecuada de los desechos radiactivos y de otro tipo. Ocurrieron liberaciones de radionucleidos hacia la atmósfera a altos niveles durante las operaciones de varias instalaciones de producción de armas nucleares. También se produjeron liberaciones al medio ambiente debido a accidentes ocurridos en algunas de las instalaciones, y a los ensayos de armas nucleares. Durante los últimos años, a medida que los documentos considerados anteriormente secretos se han sometido al examen del público, se ha tenido acceso a información sobre estos sucesos.

**Dosis anual procedente de las fuentes de radiación natural del medio ambiente  
(en zonas de radiación de fondo normal)**

Fuente	Dosis efectiva anual (microsievert)		
	Externa	Interna	Total
Rayos cósmicos	380		380
Radionucleidos de origen cósmico		12	12
Radionucleidos de origen terrestre			
Potasio 40	130	170	300
Serie del uranio 238: $^{238}\text{U} \rightarrow ^{234}\text{U} \rightarrow$ torio 230	140	1	
Radio 226		4	1400
Radón 222 $\rightarrow$ polonio 214		1200	
Plomo 210 $\rightarrow$ polonio 210		50	
Serie del torio 232	190	80	270
<b>Total (redondeado)</b>	<b>840</b>	<b>1520</b>	<b>2400</b>

**Dosis integradas prolongadas procedentes de fuentes artificiales**

Fuente	Radionucleidos principales	Dosis efectiva colectiva (Sv-hombre)
Ensayos nucleares en la atmósfera	Carbono 14, cesio 137, estroncio 90, zirconio 95	30 000 000
Accidente de Chernobil	Cesio 137, cesio 134, yodo 131	600 000
Generación de energía nucleoelectrica	Carbono 14, radón 222	400 000
Producción y empleo de radisótopos	Carbono 14	80 000
Fabricación de armas nucleares	Cesio 137, rutenio 106, zirconio 95	60 000
Accidente de Kishtim	Cerio 144, zirconio 95, estroncio 90	2 500
Reentradas por satélite	Plutonio 238, plutonio 239, cesio 137	2 100
Accidente de Windscale	Yodo 131, polonio 210, cesio 137	2 000
Otros accidentes	Cesio 137, xenón 133, cobalto 60, Iridio 192	300
Ensayos nucleares subterráneos	Yodo 131	200

Las más importantes liberaciones de radionucleidos al medio ambiente provocadas por actividades humanas han tenido su origen en los ensayos de armas nucleares en la atmósfera; le sigue en importancia el accidente de Chernobil y las exposiciones prolongadas al carbono 14 y al radón 222 asociadas a la generación de energía nucleoelectrica. Gran parte (86%) de la dosis colectiva procedente de los ensayos de armas nucleares se debe a la exposición prolongada al carbono 14. Se puede tener una cierta perspectiva de estas dosis previstas procedentes de actividades humanas si se les compara con las provenientes de fuentes naturales. Se estima que cada año se liberan 13 000 000 sievert-hombre procedentes de fuentes naturales (por ejemplo, rayos cósmicos, potasio 40 en el cuerpo y gas radón) hacia la población mundial (2400 microsievert x 5,4 x 10<sup>9</sup> personas).

La preocupación de los grupos poblacionales potencialmente afectados y, en algunos casos, la acción judicial emprendida contra las autoridades responsables, han motivado investigaciones de la exposición a las radiaciones recibidas por las poblaciones locales a consecuencia de las liberaciones. En el

Simposio se presentaron exposiciones sobre temas de la "reconstrucción de dosis" en relación con el accidente de 1957 en Khishtim (Federación de Rusia) y con los ensayos de armas nucleares en Semipalatinsk (Kazajstán), y el Polígono de ensayos de Nevada (Estados Unidos). El largo tiempo transcurrido desde

que ocurrieron las liberaciones ha ocasionado problemas que los "detectives" de evaluación radiológica tienen que resolver y, por ejemplo, ha hecho necesaria la creación de nuevas técnicas ambientales para calcular las dosis recibidas por las poblaciones expuestas desde hace 40 años.

### Descontaminación ambiental

Los problemas históricos debatidos anteriormente también han dejado un legado de contaminación ambiental en muchas partes del mundo. Además de la contaminación de partes de los medios terrestre y acuático ocasionada por las actividades de producción y ensayo de armas nucleares, muchos países se ven afectados por los residuos procedentes de las operaciones de extracción de uranio y torio, así como de otras actividades de extracción no nucleares conexas. La contaminación provocada por el accidente de Chernobyl sigue afectando a algunos países, en especial en zonas boscosas y montañosas. En muchos países se llevan a cabo investigaciones para dar a estos problemas soluciones económicas e inocuas para el medio ambiente. Las exposiciones presentadas en el Simposio incluyeron descripciones de las técnicas de mejoramiento que se aplicarán a los suelos, el agua, la vegetación y el ganado.

### Reuniones de debates temáticos

Se celebraron reuniones para debatir dos temas que actualmente son objeto de polémica y debate dentro de la comunidad radioecológica.

**Protección ambiental.** La posición generalmente aceptada con relación a este tema es que si los seres humanos que viven en el medio ambiente están protegidos adecuadamente de las radiaciones ionizantes, cabe entonces suponer que otras especies vivas estén también protegidas adecuadamente a nivel de la población, aunque no necesariamente a nivel individual. Este es el punto de vista adoptado en la actualidad por la Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) y ha sido respaldado por un estudio del OIEA publicado en 1992.\*

Sin embargo, cabe prever circunstancias en las que esta hipótesis, por sí misma, pueda resultar insuficiente para asegurar la protección de las especies no humanas, por ejemplo, en los casos en que se liberen radionucleidos hacia una región no habitada por seres humanos. Podrían existir también razones de presentación para desear tener criterios específicos para la protección de

especies ecológicas. El enfoque aceptado de la CIPR podría malentenderse e interpretarse como una actitud de despreocupación por el medio ambiente. Por consiguiente, sobre esa base se podría justificar el establecimiento de criterios explícitos de protección de las especies no humanas. Por otra parte, la introducción de criterios específicos de protección ambiental podría conllevar la necesidad de llevar a cabo una mayor vigilancia y evaluación del medio ambiente de la que se realiza actualmente y, en general, podría entrañar grandes gastos adicionales para las compañías eléctricas y las autoridades reguladoras. Estos son algunos de los puntos debatidos durante la reunión sobre protección ambiental y es obvio que el tema se seguirá debatiendo en los próximos años.

**El principio de precaución.** En los últimos años, el principio de medidas de precaución ha aparecido en diversos documentos internacionales, sobre todo en la Declaración de Río de la CNUMAD (Programa 21) y en algunos convenios regionales sobre protección del medio marino. Se formula de diversas formas; por ejemplo, en el Convenio sobre la Protección del Medio Marino del Mar Báltico se expresa de la manera siguiente: "adoptar medidas preventivas cuando existan motivos para suponer que se introdujeron directa o indirectamente sustancias o energía en el medio marino que pudieran constituir un peligro para la salud humana, dañar los recursos vivos y ecosistemas marinos, perjudicar las actividades recreativas o interferir en otros usos lícitos del mar aun cuando no haya pruebas concluyentes de una relación causal entre los aportes y sus supuestos efectos".

La parte final de la definición es obviamente controvertida y fue el tema central de la reunión de debates del Simposio dedicados al examen del principio de precaución. Por una parte, cabe afirmar que la mayor parte de las legislaciones vigentes en materia de descarga de desechos pueden considerarse no satisfactorias en el sentido de que exige que los científicos demuestren que una sustancia nociva afecta el medio ambiente antes de introducir medidas de reglamentación. El enfoque de precaución exigiría una "inversión de la carga de la prueba". Esta innovación podría ser útil en los casos en que se conoce poco sobre la sustancia que se prevé descargar o cuando apenas se conoce el ciclo biogeoquímico en el medio ambiente y los riesgos de la sustancia para éste. Por la otra, el principio de precaución, si se interpreta literalmente, podría significar que no se debería permitir la descarga de sustancias al medio ambiente ya que probablemente será imposible presentar pruebas absolutas de que no ocurrirá daño alguno.

Es evidente que si bien el enfoque de precaución es apropiado como concepto general, es preciso interpretarlo para su aplicación a situaciones específicas. Debe aplicarse de manera que no impida la liberación controlada al medio ambiente de sustancias cuyas propiedades y comportamiento en el medio ambiente hacia el cual se libera son bien conocidos.

\* *Effects of Ionizing Radiation on Plants and Animals at Levels Implied by Current Radiation Protection Standards*. Vol. 332 de la Colección de Informes Técnicos del OIEA, Viena (1992).