

Contribuciones de la industria a la radiactividad ambiental

Los estudios marinos ayudan a obtener datos sobre cómo algunas industrias "no nucleares" convencionales aumentan la radiactividad natural en el medio ambiente

En las esferas de la industria y el medio ambiente se está tomando cada vez más conciencia de la exposición a la radiactividad natural y su incremento tecnológico. Lamentablemente, a menudo muchas personas incurren en el error de asociar la radiactividad ambiental únicamente a la industria nuclear, y de suponer, en efecto, que la radiactividad es, de alguna manera, generada por la actividad del hombre.

La historia es tan antigua como el propio nacimiento del universo. Fue la combinación de las reacciones nucleares y la radiactividad lo que dio origen a la materia. Fue la estabilidad nuclear la que determinó cuáles elementos existirían en abundancia y cuáles escasearían en nuestro universo. De los más de 5000 tipos de átomos (nucleidos) conocidos, cerca del 95% son radiactivos. Esa es la norma. Prácticamente todos los materiales y medio ambientes de nuestro planeta son radiactivos y a la vez están expuestos de manera natural a la radiación ionizante. La energía (calor) generada por este tipo de radiación ha desencadenado los principales cambios geológicos que han tenido lugar en la Tierra, su división en núcleo, manto y corteza, sus ciclos de convección interna y sus manifestaciones externas de conformación terrestre, como los terremotos, la actividad volcánica, el movimiento orogénico, el acarreo continental, y otros.

El medio ambiente radiactivo natural también ha desencadenado y catalizado algunos de los principales estadios de la evolución misma de la vida. Y, por supuesto, los reactores de fusión —nuestro sol y las estrellas— han proporcionado la energía nuclear que constituye la fuente primaria de la luz diurna, el calor y el clima, así como también fuentes de energía alternativas y secundarias como el carbón, el petróleo, el gas, la madera, la turba, el viento, y otros. De manera similar, la radiactividad de las rocas suministra la energía geotérmica. Así, casi todas las fuentes industriales y domésticas de

calor son fundamentalmente de origen nuclear y, como ya se indicó, todos los materiales naturales son radiactivos. También cabe señalar, de paso, que los radionucleidos naturales constituyen un medio singular para estudiar el ritmo de los procesos naturales y sus mecanismos, puesto que la desintegración radiactiva es el único "marcador de tiempo" de la Naturaleza realmente independiente y con una escala conocida que nos permite datar rocas, sedimentos, restos arqueológicos y otros materiales.

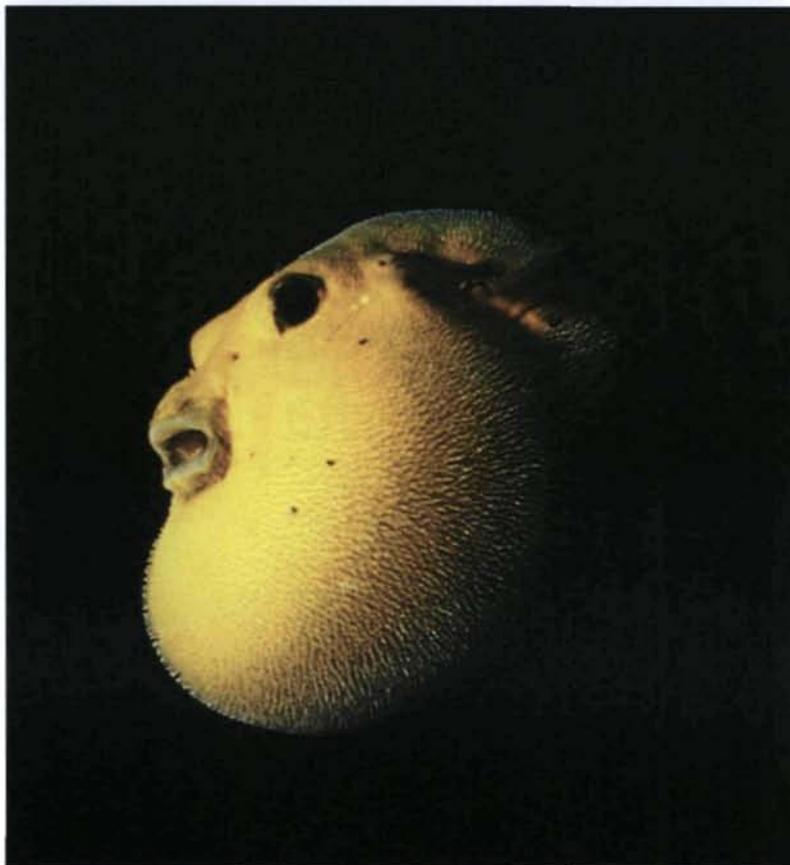
Las concentraciones de radiactividad típicas de una serie de materiales a los que estamos expuestos diariamente varían mucho. (Véase el cuadro de la pág. 35.) A modo de referencia, es conveniente recordar que el límite inferior de actividad establecido para los materiales radiactivos —es decir, por encima del cual una sustancia se considera radiactiva— se ha fijado como norma entre 100 y 400 bequerelios por kilogramo para las materias sólidas, según el contexto y el uso.

El hecho de que los niveles de radiactividad de muchos de estos materiales esté por encima de esos límites no significa por fuerza que constituyan un riesgo importante. La vía y duración de la exposición deben tenerse en cuenta al realizar una evaluación de ese tipo. Sin embargo, la cuestión fundamental es que los radionucleidos naturales —principalmente el potasio 40 y los que pertenecen a la serie de desintegración del uranio y el torio— se presentan en concentraciones tan altas, tanto en los materiales naturales como en los creados por el hombre, que *podrían* considerarse sustancias radiactivas que en determinadas circunstancias *podrían* dar lugar a una importante exposición a las radiaciones.

El hecho de que cada vez se tiene más presente la importancia de la radiactividad natural como fuente de exposición diaria general a las radiaciones se refleja en los distintos cálculos efectuados por el Comité Científico de las Naciones Unidas para el Estudio de los Efectos de las Radiaciones Atómicas (UNSCEAR). Sus cálculos por individuo de la dosis natural media de exposición a los radionucleidos de la serie de desintegración natural fueron modificados de unos 50 microsievert anuales en 1962, a cerca de 150 en 1972, a 1040 en 1977, a 1140 en 1982 y a unos 1400 en la actualidad.

por M.S. Baxter

El Prof. Baxter es Director del Laboratorio para el Medio Ambiente Marino del OIEA en Mónaco y Director Ejecutivo de *Journal of Environmental Radioactivity*.



En el presente trabajo se hace un análisis sobre la ubicuidad de la radiactividad en la naturaleza, en que se explica el carácter fundamental de los procesos nucleares que sustentan nuestra existencia misma y se pone de relieve la importancia que reviste la radiactividad natural entre las radiaciones a que se expone a diario el hombre. Asimismo, se mencionan brevemente algunas industrias "convencionales" y "obsoletas" que emplean actualmente (y que siempre han empleado) materiales radiactivos naturales, y que concentran y luego liberan mayores cantidades de dichos radionucleidos al medio ambiente.

Simplemente el objetivo que se persigue es ampliar los conocimientos sobre estas industrias, sin afán de incriminarlas, y quizás alentar la adopción de medidas que conduzcan a una evaluación comparativa más objetiva y justa y propiciar un mayor conocimiento de los efectos de las distintas actividades industriales sobre el medio ambiente.

La radiactividad y los combustibles fósiles

La contribución de los combustibles fósiles (carbón, petróleo y gas) al incremento de la radiactividad natural es la que mejor se conoce, aunque quizás no se aprecie aún en toda su magnitud. La radiactividad de tales combustibles se deriva de su elevado contenido de isótopos de uranio, torio, radio, radón y polonio, los cuales se incrementan y luego se liberan durante la extracción y el quemado del combustible. En un estudio reciente se demuestra que la generación de un gigavatio eléctrico (GWe) a partir del quemado de carbón suele hacer que se liberen al medio ambiente cenizas volantes y gases de descarga de alrededor de 10^9 a 10^{11} bequerelios (Bq) anuales de radón 220 y radón 222, y de 10^8 a 10^{10} Bq anuales de plomo 210, polonio 210, radio 226 y 228, torio 232 y uranio 238.

Esas tasas de liberación ordinarias que en gran medida van a la atmósfera, son inferiores o equiparables a las de las centrales nucleares en condiciones normales de explotación, y aportan al medio ambiente mundial unas 5000 toneladas de uranio, 8000 toneladas de torio y sus nucleidos hijos, incluidos unos 600 terabequerelios de emisores alfa. El resultado principal de ello es un compromiso de dosis colectiva de alrededor de 200 sievert·hombre, con una tasa de dosis típica del grupo crítico de hasta 50 microsievert anuales.

La radiactividad natural de los desechos de las cenizas volantes se concentra mediante los procesos de volatilización y sorción relacionados con el quemado del carbón original. (Véase el cuadro de la pág. 37.) Una consecuencia inmediata de este enriquecimiento de la radiactividad de las cenizas volantes es que su uso corriente en la producción de materiales de construcción aumenta, en consecuencia, las tasas de dosis gamma y de exhalación de radón en los edificios construidos con ladrillos y bloques fabricados por este método y el medio que los rodea.

Los estudios del medio ambiente marino han permitido comprender científicamente la radiactividad natural y sus vías de exposición. (Cortesía: Aldo Brando, Bogotá)

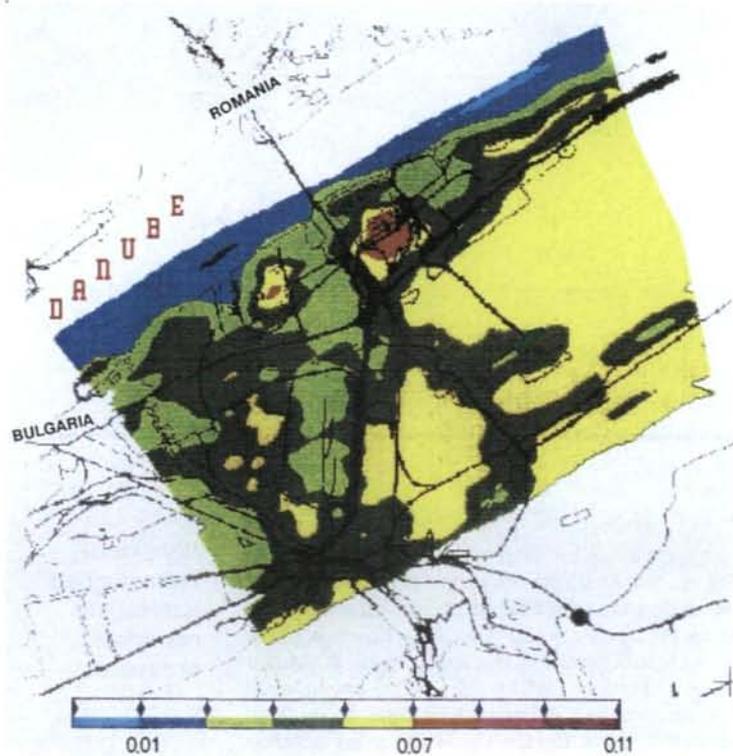
Concentración típica (variación)			Concentración de los nucleidos principales			
Nota: todas las concentraciones se expresan en bequerelios por kilogramo.			Alfa		Beta/gamma	
Material	Alfa	Beta/gamma	Radón 226	Torio 232	Uranio 238	Potasio 40
Rocas						
<i>Igneas</i>	140	800	48	48	48	800
<i>Granito</i>	170		90	80		
<i>Arenisca sedimentaria</i>	64	330	28	14	24	330
<i>Pizarra sedimentaria</i>	95	800	40	40	15	800
<i>Piedra caliza</i>	36	80	16	5	15	80
<i>Mineral fosfático</i>	1500	260	1400	50		260
Suelo general						
	550 (300-1000)	440	70 (7-180)	40 (4-100)	24 (8-110)	440 (0,2-1200)
Ladrillos	110 (7-170)	600 (10-1000)	60 (2-90)	46 (3-80)		600 (10-1000)
Yeso y cemento	300 (30-800)	90 (40-160)	300 (20-800)	25 (8-60)		90 (40-160)
Arena y gravilla	200-2000	30	4	20-200	20-90	30
Hormigón	90 (40-170)	500 (210-650)	60 (7-140)	30 (13-42)		500 (210-560)
Organos y tejidos humanos	0,2	67 (incluido rubidio 87)	0,003	0,0002	0,003	60
Libros	30	100	0,9-30 (polonio 210)			100
Carbón						
<i>Yorks 1982</i>	60	300	20	20	20	300
<i>RU 1984</i>	82	170	15	12	14	170
Cenizas volantes	1400	1100	200-600 (polonio 210)	200	200	500
Fertilizante						
<i>Superfosfatado normal</i>	2200		770	20	740	
<i>Superfosfato concentrado</i>	4600		800	10	2000	
Hierba seca		600	300 (polonio 210)			600
Alga marina (Cowall)	17				8	

La liberación de cenizas volantes durante el quemado del carbón se produce en forma de partículas vitrificadas finas (1 a 100 micrómetros de diámetro). A pesar de los dispositivos de filtración de las chimeneas y otros medios de recolección empleados, a menudo se observa que los suelos del entorno de las centrales eléctricas alimentadas con carbón están enriquecidos con ese tipo de radionucleidos transportados en las cenizas. La ceniza que queda en los filtros de las chimeneas y los residuos de carbón también se suele evacuar en los vertederos o lagunas de oxidación de la localidad, los que, a su vez, registran mayores niveles de radiactividad.

Un ejemplo de ese incremento de la radiactividad en el medio ambiente lo proporciona un estudio aéreo realizado recientemente con un espectrómetro gamma en la cuenca del Danubio. En dicho proyecto, científicos del Laboratorio para el Medio Ambiente Marino (MEL) del OIEA en Mónaco cooperaron con la Comisión de Energía Atómica de Francia (CEA), el Equipo Cousteau, y los departamentos e institutos de Estados Miembros de la zona para realizar un estudio del medio ambiente que circunda al Danubio. En dicho estudio se empleó un detector gamma de gran volumen que se instaló en la parte inferior de un helicóptero, medio éste

Niveles de radiactividad natural en materiales ordinarios

En el marco de un proyecto IAEA-MEL, en 1992 se realizó desde un helicóptero un estudio de las cenizas volantes típicas que se evacúan en un lago cercano al Danubio en Bulgaria. En el mapa se muestran las tasas de dosis de radiación gamma correspondientes a una de las varias zonas industriales en que se determinó que las industrias convencionales contribuían considerablemente al medio ambiente radiactivo local. Las zonas en amarillo cerca de la ciudad búlgara de Russe indican un incremento de la actividad gamma derivada del potasio 40. Se observa una estrecha correlación entre estas zonas y los campos agrícolas tratados con fertilizantes ricos en potasio. Más cerca del Danubio mismo (que es azul debido a su baja radiactividad), dos zonas más pequeñas de color naranja y rojo muestran señales de un incremento de bismuto 214 en los espectrómetros aéreos, lo que indica la presencia de su precursor, el radio 226. En las investigaciones posteriores realizadas por científicos búlgaros se demostró que los "puntos calientes" son resultado de los estanques de sedimentación parcialmente rellenos adonde se transporta la ceniza y los desechos minerales procedentes de una central eléctrica de 200 MWe alimentada con carbón, los cuales se dejan sedimentar después. Los estanques desaguan en el río. En análisis posteriores realizados en la Universidad de Sofía y en el proyecto IAEA-MEL se demostró que los suelos colindantes contienen de 500 a 700 bequerelios por kilogramo (Bq/kg) de potasio 40, cerca de 160 Bq/kg de radio 226, unos 60 Bq/kg de torio 232, alrededor de 50 Bq/kg de plomo 210 y aproximadamente 75 Bq/kg de polonio 210. La tasa de dosis gamma se incrementa en el lugar en un 70%. La tasa de dosis media máxima establecida en función del espacio, medida desde el helicóptero, es de unos 100 nanogray por hora, cifra que se encuentra en el extremo superior de la variación ambiental normal. (En un atlas de radiaciones publicado recientemente por la Comisión de las Comunidades Europeas se muestra que las tasas de dosis gamma al aire libre típicas en el territorio europeo oscilan entre menos de 30 y más de 80 nanogray por hora, con una media de unos 50 nanogray por hora.) Aunque las cenizas y los suelos muestran un incremento de la radiactividad y el emplazamiento como tal no está cercado, no tiene por qué haber un problema radiológico. Los incrementos son bastante moderados y la dosimetría depende de las vías y los hábitos locales. Las vías de exposición probables son el agua que drena en el Danubio y más tarde va a parar a la cadena alimentaria fluvial, así como la inhalación e ingestión de polvo transportado por el viento rico en cenizas volantes. Sin embargo, en este contexto en particular, se rindió un informe al cuerpo de inspectores sanitarios de la localidad de manera que pudiera realizarse una evaluación completa. Tales observaciones del incremento de la radiactividad no son privativas de Bulgaria, puesto que ocurren en todos los países y en todos los lugares en que se quema carbón.



Nota: Irradiación en microgray por hora.
Escala: 1 cm = 359 m

muy eficaz y rápido de localización geográfica de la radiactividad natural y artificial en el medio ambiente. (Véase la foto.)

El quemado del petróleo y el gas se caracteriza por interacciones similarmente interesantes con los nucleidos de la serie de desintegración natural, en especial, en estos casos, con los isótopos del radio y el radón. Así, por ejemplo, el radón 222 se difunde en los yacimientos de gas natural y de petróleo en el interior de la tierra y más tarde éste o sus nucleidos hijos son liberados en las centrales eléctricas o en las viviendas donde se queman esos combustibles. Se ha calculado que el grupo crítico próximo a una central eléctrica alimentada con gas puede recibir un equivalente de dosis efectiva de hasta 20 microsievert anuales mediante la ingestión de la progenie del radón 222 presente en los mariscos y las hortalizas de hojas. La inhalación del radón 222 en las viviendas donde se quema gas natural puede dar lugar a una dosis similar.

Tal vez una de las vías de exposición ambiental sobre la que existe más información en esta esfera es la relacionada con el proceso de concentración de nucleidos que tiene lugar en la salmuera que sale a la superficie durante la extracción del petróleo y el gas. Las sales de la salmuera sobresaturada, generalmente sulfatos y carbonatos metálicos alcalino-térreos, se separan y se solidifican en forma de "escamas" en el interior de los conductos, bombas o tanques, lo que, a la larga, reduce y bloquea el flujo de líquidos y obliga a desprender y eliminar las escamas.

Los principales cationes naturales que se emplean en estos estudios son el calcio, el estroncio y el bario, que son sumamente eficaces para recoger y concentrar a su pariente cercano el radio, concretamente, los isótopos de radio 226 y 228, que se halla en la salmuera, las aguas subterráneas y el agua de mar. Así, se han observado concentraciones de radio 226 y 228 de hasta 10^6 bequerelios por kilogramo (Bq/kg) o más. Los obreros que limpian y desconta-



minan ese equipo deben seguir estrictos procedimientos de seguridad comparables con los de los laboratorios nucleares de actividad alta.

Sin embargo, no es inusual que los efluentes de este tipo de instalación industrial se descarguen directamente en el medio ambiente. Por ejemplo, hemos observado recientemente un incremento en las concentraciones de polonio 210 (625 Bq/kg) en los organismos marinos recolectados en las proximidades de las salidas de los conductos de descarga. A propósito, en el mismo estudio, realizado por el Scottish Universities Research and Reactor Centre, también se observó un aumento de las concentraciones de plomo 210, polonio 210, torio 232 y uranio 238 en los sedimentos costeros recogidos cerca de un lugar donde se vierten directamente al mar los desechos derivados de la extracción del carbón.

No debe llegarse a la conclusión de que la liberación de radiactividad por la industria eléctrica alimentada con combustibles fósiles está generalizada o es dañina. Sin embargo, en algunos casos, las liberaciones pueden ser considerables a escala local y mucho menos conocidas y controladas que las que aporta en magnitud semejante su rival, la industria nuclear.

Las industrias alimentadas con combustibles fósiles ya conocen los problemas de los cambios climáticos mundiales, la lluvia ácida, la contaminación con metales tóxicos y los componentes orgánicos, los accidentes de minería y las explosiones durante la distribución y el uso de los materiales, además de la inconveniencia de quemar un recurso natural valioso y finito a base del cual, por ejemplo, se pueden fabricar productos farmacéuticos y plásticos. El mayor conocimiento y comprensión del incremento de la radiactividad ambiental que produce el empleo de combustibles fósiles permitirá disponer de un parámetro más para la adopción de decisiones políticas y científicas.

Otras industrias convencionales

El IAEA-MEL de Mónaco, en particular mediante la labor del Prof. Robin Cherry y sus colaboradores, ha estado a la vanguardia de las investigaciones en las que se ha demostrado que los organismos marinos naturales concentran el polonio 210 presente en el agua de mar. De esta forma esos organismos reciben una dosis local considerable en sus distintos tejidos, principalmente en el hígado y el páncreas, en que las concentraciones de hasta varios kilobecquerelios (kBq) por kilogramo (húmedo) dan por resultado dosis sólo de polonio 210, del orden de los 100 milisievert anuales. Por consiguiente, ese órgano marino parece tener una de las más altas, si no la más alta, dosis de radiación natural.

Concentración total (alfa + beta/gamma)

De 100 a 400 bequerelios por kilogramo	Más de 400 becquerelios por kilogramo
Cereales	Té
Carne	Café
Aves	Hongos desecados
Patatas	Algunos crustáceos
Algunas hortalizas verdes	Algunas nueces del Brasil
Raíces	Algunos tipos de agua potable
Algunas frutas frescas	Algunas rocas
Productos frutícolas	Suelos
Algunos frijoles	Algunos tipos de ladrillo
Pescado, algunos crustáceos	Algunos tipos de yeso
Algunas nueces del Brasil y otras nueces	Algunos tipos de hormigón
Algunos tipos de agua potable	Cenizas volantes
Algunas rocas, ladrillos	Fertilizantes
Algunos tipos de yeso	
Algunos tipos de hormigón	
Cemento, arena, gravilla	
Libros	
Carbón	

Con todo, no fue hasta mediados del decenio de 1980 que el Dr. Scott Fowler del IAEA-MEL y el autor, con la ayuda de un estudiante investigador asociado (actualmente el Dr. Paul McDonald), demostramos que, incluso en los alrededores de uno de los principales lugares de descarga nuclear (cerca de Sellafield en el Reino Unido), la radiactividad alfa del polonio 210 natural de los mejillones comestibles comunes era superior a la actividad alfa del grupo crítico expuesto a los radionucleidos artificiales. La actividad del polonio 210 osciló entre 124 Bq/kg en los músculos y 600 Bq/kg en las vísceras.

En un estudio complementario, el Dr. McDonald, nuestros colaboradores y el autor demostramos después que en la zona costera del Mar de Irlanda existía, de hecho, otra fuente bastante importante de polonio 210 procedente de la industria no nuclear. Se observaron concentraciones de 0,3 a más de 3 kBq/kg de polonio 210 en mejillones de la región de Whitehaven del Reino Unido. Estos incrementos fueron consecuencia de las descargas habituales de desechos procedentes de una planta de elaboración de fosfato (ya cerrada).

En un estudio complementario realizado por el Ministerio de Agricultura, Alimentación y Pesca del

Niveles de radiactividad natural en materiales seleccionados

Niveles comparativos de radiactividad en las cenizas volantes y el carbón

Contenido de actividad en bequerelios por kilogramo

	Potasio 40	Uranio 235	Radón 226	Plomo 210	Polonio 210	Torio 232	Torio 238	Radio 238
Carbón	50	20	20	20	20	20	20	20
Cenizas volantes	265	200	240	930	1700	70	110	130

Reino Unido se demostró que los desechos procedentes de esta fábrica de detergentes también contenían importantes cantidades de isótopos de radio 226 y torio. Las dosis del grupo crítico recibidas por los consumidores de mariscos de la localidad oscilaron entre 0,3 y 3 milisievert anuales, cifra ésta superior a cualquiera de los valores derivados entonces de las descargas nucleares de ese país.

En las proximidades de las plantas de elaboración de fosfato se han observado con bastante regularidad similares incrementos ambientales de los nucleidos de la serie de desintegración natural, lo que refleja la afinidad química natural del uranio y el radio con el ión de fosfato y su acumulación en los desechos del yeso fosfatado. Las industrias de fertilizantes y detergentes constituyen los principales centros de atención en lo que atañe al incremento de la radiactividad natural en los desechos fosfatados.

Uno de los ejemplos más conocidos de este fenómeno es la descarga de efluentes de yeso fosfatado procedentes de la zona industrial de Rotterdam, en los Países Bajos. El Dr. Heko Köster del Instituto Nacional de Salud Pública y Protección Ambiental de los Países Bajos y sus colaboradores han demostrado que se liberan unos 10^{12} Bq anuales de polonio 210 y radio 226, lo que produce un incremento de aproximadamente 100 Bq/kg de polonio 210 en las partes comestibles de los mejillones y en los camarones que habitan en un perímetro de 50 a 100 kilómetros de la zona industrial. Entre los grupos de consumidores de mariscos se prevé una tasa de dosis individual de 0,1 a 0,3 milisievert anual, mientras que el empleo del lodo contaminado de los puertos como relleno en los pólder (tierra ganada al mar) de las inmediaciones de Rotterdam puede generar dosis individuales de 0,3 a 1 milisievert anual como resultado del consumo de productos del ganado local y de la inhalación de una mayor cantidad de radón 222 en interiores.

Este ejemplo que hemos citado sobre el fosfato es típico de un número bastante amplio de otras industrias "convencionales" que, debido fundamentalmente a que sus materias primas son ricas en radiactividad natural, pueden liberar, y en efecto liberan, una mayor radiactividad al medio ambiente.

Recientemente se pidió al autor que analizara los flujos de radiactividad que entraban y pasaban a través de una de las principales plantas de fundición de minerales (estaño, cobre, plomo, y otros) del mundo, así como los que ésta liberaba. Con la ayuda de un pequeño equipo de colaboradores, descubrimos que las materias primas tenían un contenido de polonio 210 de hasta 66 kBq/kg y que el proceso industrial concentraba aún más los radionucleidos. Por ejemplo, los intermedios tenían concentraciones de polonio 210 de hasta 2,2 megabequerelios por kilogramo. El flujo anual que pasaba a través de la fábrica estaba en el orden de los terabequerelios por año y, además de las descargas de las chimeneas, los polvos de desechos contaminados transportados por el viento eran una vía potencial de dispersión en el medio ambiente.

Se han asociado incrementos similares de la radiactividad a industrias como la de producción de óxidos de titanio, de compuestos de tierras raras, de aguas minerales, de pintura y cerámica, y al uso de colas procedentes de la industria de pizarra

alumbrosa y de arenas ricas en circonio, es decir, a las industrias de colorantes, prendas de vestir, quemado de cal, aceite y construcción. En todos estos casos, los nucleidos de la serie de desintegración natural están presentes en concentraciones relativamente altas en los materiales básicos y el proceso industrial puede enriquecerlos y descargarlos posteriormente.

La lista podría engrosarse, pero hasta aquí basta para transmitir el mensaje, que en principio se basa en el hecho de que las "industrias convencionales" a menudo incrementan la radiactividad ambiental. Como ya se dijo, incluso hemos llegado recientemente a la etapa en que, al menos en uno de los principales países "nucleares", el Reino Unido, la tasa de dosis máxima potencial de un grupo crítico del público ha sido mayor en una industria "no nuclear" (elaboración de fosfato) que en uno de los principales emplazamientos nucleares del mundo (Sellafield). Como sucede con las exposiciones a la radiactividad inducida por la industria nuclear, pocos son los incrementos, de haber alguno, de las industrias "convencionales" que sean realmente importantes desde el punto de vista de la salud, ya sea a nivel mundial o local.

Hacia un mayor equilibrio

Vivimos, para nuestra satisfacción, en un mundo radiactivo, con un campo de radiación de fondo natural cuya variabilidad pasada y presente supera con creces los efectos insignificantes producidos por la actividad del hombre que se han examinado en este trabajo. Lo importante al comparar la industria nuclear con la no nuclear es comprender el desequilibrio que existe en 1) el conocimiento y el control de las emisiones radiactivas, 2) las normas de seguridad necesarias asociadas a éstas, y 3) la capacidad financiera para minimizarlas.

Actualmente se toman medidas a nivel internacional a fin de armonizar la evaluación y el control de ambos conjuntos de fuentes de nucleidos, es decir, se trata de hacer concordar las normas de control de las emisiones de las industrias no nucleares con las que se aplican con más rigor en la industria nuclear. Una vez que se logre que la radiactividad sea objeto de un tratamiento más equitativo basado en evaluaciones de sus consecuencias y costos, entonces se deberá ejercer similar presión para que se cuantifiquen los daños ambientales y sanitarios de los contaminantes no nucleares emitidos por las industrias "convencionales".

Sin embargo, deberá transcurrir algún tiempo antes de que se logre definir y luego controlar la relación exposición-efecto de los contaminantes industriales no nucleares con el mismo rigor con que la industria nuclear evalúa las emisiones radiactivas y otras clases de emisiones.