

# evaluación de la contaminación radiactiva corporal

La evaluación de la carga resultante en los órganos y en el cuerpo entero de la ingestión o inhalación de sustancias radiactivas sigue constituyendo una de las actividades más difíciles que encierra todo programa adecuado de vigilancia radiológica de los trabajadores, tanto en condiciones normales como en caso de accidente.

En mayo de 1964, el OIEA, en cooperación con la Organización Mundial de la Salud y la Organización Internacional del Trabajo, celebró un Simposio sobre evaluación de la carga corporal radiactiva en el hombre, que tuvo lugar en Heidelberg (República Federal de Alemania). Desde entonces se ha progresado considerablemente en este terreno, pero subsisten aún muchos problemas de carácter fundamental.

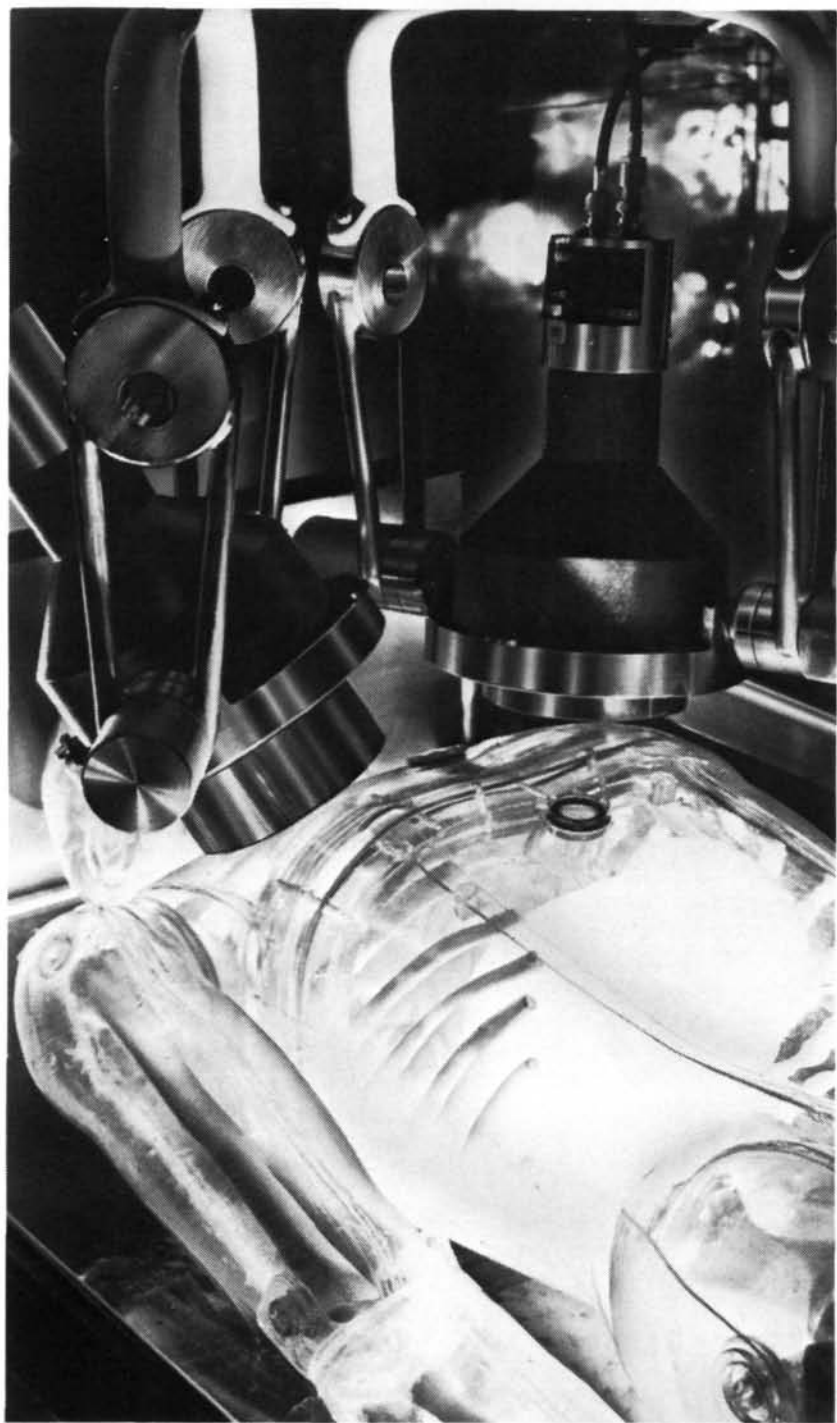
Al entrar en prensa este número del Boletín, se reunían en Estocolmo (Suecia) más de 130 científicos de los Estados Miembros del OIEA y de la OMS, para estudiar de nuevo la evaluación de la carga radiactiva de los órganos y del cuerpo entero, en un simposio convocado conjuntamente por ambas organizaciones al objeto de poner al día y ampliar los resultados dados a conocer en la reunión de 1964.

Dentro de unos meses se publicarán las memorias presentadas en este segundo simposio, así como el acta de los debates en él desarrollados. Una de las memorias preparadas para esta reunión da una idea vívida de la naturaleza de los problemas con que se tropieza en esta esfera y pone claramente de manifiesto la necesidad de proceder con suma precaución cuando se manipulan sustancias radiactivas. Hay que recalcar que un caso como el que aquí se expone es, probablemente, único por las circunstancias que en él concurrieron.

## La herencia del pasado

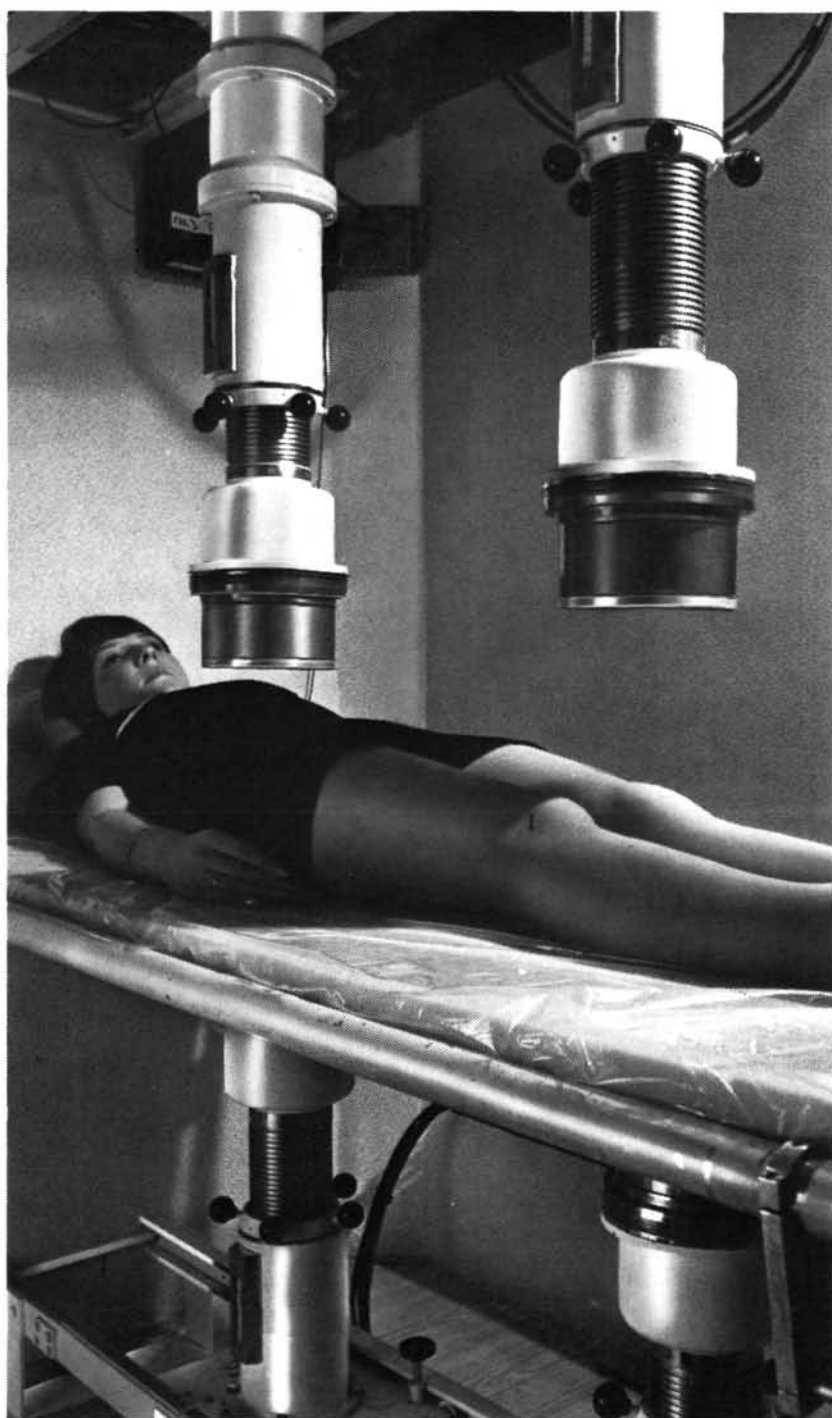
En la memoria en cuestión, original de J. Rundo, A.T. Keane y H.A. May, del Centro de Radiobiología Humana, División de Física Radiológica del Laboratorio Nacional de Argonne (Estados Unidos), se describe la medición del americio-241 en un niño de diez años. La historia es de lo más simple.

«En 1964, un científico trabajó durante tres meses en el garaje de su casa, separado de ésta, con una fuente de americio-241, cuya actividad se creía que era de unos 10 mCi», escriben los autores. «Según



Maniquí de plástico de tamaño natural, con un esqueleto humano en su interior, en el que se pueden colocar unos pulmones o un hígado simulados con cantidades conocidas de radioisótopos a fin de calibrar los instrumentos de recuento que pueden apreciarse en la parte superior de la fotografía.

Este «fantasma» ha sido construido como parte de un programa cuyo objeto es garantizar la seguridad de los trabajadores profesionalmente expuestos a las radiaciones en el Mound Laboratory de Miamisburg (Ohio). Foto: USAEC



Equipo empleado para la evaluación de la carga corporal radiactiva, y que forma parte del utilizado por la División de Medicina e Higiene Radiofísica de la Atomic Energy Authority del Reino Unido. Foto: UKAEA

la información facilitada por el proveedor, la fuente no entrañaba riesgo alguno y ni cedía sustancia radiactiva alguna por contacto con las manos, ropas, etc. El hijo del científico, R., de cuatro años, seguía con toda atención las manipulaciones de su padre.

«En febrero de 1970, en el nuevo lugar de trabajo del científico se observó una contaminación por partículas alfa cuya causa se comprobó era el americio-241, y que resultó tener su origen en el mobiliario y los enseres contaminados de la nueva casa del interesado. Las mediciones de la carga radiactiva corporal llevadas a cabo en un instituto de investigaciones próximo revelaron la presencia de americio-241 en todos los miembros de la familia, pero sólo el científico y su hijo (que tenía ya 10 años) presentaban una contaminación inquietante.»

Los autores efectuaron dos series de mediciones en el científico y en su hijo, en abril de 1970 y en agosto de 1971, utilizando detectores de centelleo y un contador proporcional. Como parte de sus investigaciones, realizaron una serie de estudios de dispersión y absorción, sirviéndose de una fuente real de americio-241 y de sustancias equivalentes a tejidos orgánicos «razonablemente seleccionadas».

Se calculó un valor muy aproximado de la carga corporal que tenía el niño a partir de mediciones efectuadas con un contador de centelleo y el sujeto sentado en una silla basculante, utilizando potasio-40 como patrón interno. Al no disponer los investigadores de calibración con respecto al potasio en un paciente tan pequeño, hubieron de suponer la cantidad de potasio contenida en su cuerpo: 70 g, o sea, el 0,20% del peso corporal. Basándose en distintas hipótesis en cuanto a la atenuación que experimentan en el cuerpo humano los rayos gamma de distintas energías, estimaron que el contenido corporal de americio-241 era 60 nCi. «Pero debe tenerse en cuenta que la eficiencia del recuento depende de la distribución en el cuerpo y, mientras que el potasio se encuentra principalmente en los tejidos blandos, el americio es osteófilo. Es dudoso que esta estimación tenga una exactitud superior a la resultante de aplicar un coeficiente dos.»

Cuando el paciente volvió a visitar a los investigadores en agosto de 1971, pudieron éstos efectuar mediciones con el paciente tendido en arco de 1,5 m de radio, utilizando un gran cristal delgado de yoduro sódico. En esta ocasión, se calculó que el contenido era de  $38 \pm 2$  nCi ( $\pm$  el error estadístico típico). Sin embargo, otra serie de mediciones dio un valor de 42 nCi en abril de 1970, y otra más, un valor de 24 nCi. Del análisis efectuado resultó que, al parecer, tres cuartas partes del contenido total de americio se encontraba en la mitad superior del cuerpo del niño. De estar el americio uniformemente distribuido por todo el esqueleto —lo que, en opinión de los autores, es «una hipótesis fundamental de dudosa validez»—, ello significaba que hasta un 50% del contenido total podría encontrarse en los tejidos blandos, probablemente en el hígado o en los pulmones, o en ambos.

«La interpretación de las mediciones efectuadas in vivo tiene aspectos poco satisfactorios», dicen los autores. «¿Es la carga corporal del sujeto 24 nCi o 40 nCi? ¿Disminuyó entre las dos series de mediciones, según indican los resultados de los recuentos, o bien fueron éstos causados por una redistribución debida al crecimiento del esqueleto? ¿Tuvo algo que ver con ello la terapia exploratoria de quelación? Nos gustaría dar respuesta a estas preguntas, pero, de momento, no podemos hacerlo. Según parece, la medición del americio-241 in vivo no es nada sencilla... Confiamos en que la exposición de estos fenómenos sea

de utilidad para otros especialistas en la materia que no hayan tenido ocasión de observarlos.»

Un caso como este es sumamente raro, y debe subrayarse una vez más que carece de significación en lo que respecta a la seguridad de la población. En general, la industria nuclear ha conseguido un grado de seguridad sumamente satisfactorio.

#### Antecedentes históricos

Karl Z. Morgan, Director de la División de Higiene Radiofísica del Laboratorio Nacional de Oak Ridge (Estados Unidos), recuerda, en un estudio panorámico introductorio, que, aunque ya en los primeros tiempos consecutivos a los descubrimientos de Roentgen y Becquerel hubo muchas tentativas individuales de fijar normas de protección radiológica, hasta 1920 no se emprendió ninguna actividad seria por parte de grupos organizados. El Comité Británico de Protección contra los Rayos X y el Radio dio a conocer en 1921 sus primeras medidas de protección radiológica, pero no sugirió valor alguno para la dosis de tolerancia. Inicialmente, la mayor parte de las dosis de tolerancia recomendadas se basaban en una fracción de la dosis que se estimaba producía un eritema.

Las recomendaciones relativas a la limitación de la dosis interna de radionúclidos tardaron más tiempo en llegar; el primer caso registrado de fallecimiento por causa del radio en la industria de este metal se dio a conocer en 1925, y no fue sino en 1941 cuando un comité asesor del Consejo Nacional de Protección Radiológica y Medición de las Radiaciones (NCRP) fijó la carga corporal máxima admisible de radio en 0,1  $\mu\text{g}$ . El comité en cuestión declaró en un informe: «Cuando los depósitos de radio son grandes, los daños afectan principalmente al esqueleto y, a continuación, a los leucocitos y eritrocitos, originando una leucopenia o una anemia, o ambas a la vez. Así ha sucedido en el caso de depósitos de 12 a 100  $\mu\text{g}$  de radio.» En aquella época, se consideraba que se debía mantener un coeficiente de seguridad de 10 a 100 entre la carga corporal admisible recomendada de  $^{226}\text{Ra}$  y la cantidad que podría dar lugar a lesiones graves. En el informe citado se señalaba además que los pequeños depósitos de radio en los huesos perduran casi indefinidamente, pudiendo producir graves osteopatías que suelen adquirir carácter maligno, y se decía: «Por lo tanto, es fundamental evitar toda ingestión o inhalación de compuestos radiactivos luminosos y comprobar periódicamente si los obreros exhalan radón con el aliento... Para garantizar la seguridad es importante, en consecuencia, atenerse a límites netamente inferiores a las tolerancias fijadas.» Morgan hace observar que, aunque los valores de la dosis de tolerancia o de la exposición máxima admisible a las fuentes externas de radiaciones ionizantes han cambiado muchas veces, «esta primera carga corporal total máxima admisible de 0,1  $\mu\text{g}$  de  $^{226}\text{Ra}$  ha resistido la prueba del tiempo y quizá siga vigente en el nuevo manual de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, actualmente en preparación».

El manual de la CIPR sobre dosis internas lleva varios años en estudio y se publicará en forma revisada con el título de «*Handbook on the Dosimetry of Radionuclides Within the Body*» a primeros de 1973. La novedad más importante en esta nueva versión, dijo Morgan, consiste en la introducción del concepto de «dosis comprometida»: la dosis comprometida anual máxima admisible corresponde a la exposición a la concentración máxima admisible del radionúclido de que se trate durante un

año, en cuyo caso la dosis total en 50 años corresponde numéricamente a la dosis anual máxima admisible. El manual también incluirá información y recomendaciones nuevas.

¿Por qué normas guiarse?

«Uno de los problemas más recalcitrantes y persistentes a que ha de hacer frente el especialista en higiene radiofísica es el hecho de que existen normas de protección radiológica de muy distintos grados de importancia, y las personas que aplican tales normas no aciertan con frecuencia a distinguir entre las normas primarias y las directrices de protección radiológica (normas secundarias, terciarias, cuaternarias, etc.). En muchos casos, se concede tanta importancia al cumplimiento de una o más directrices de protección radiológica y se toman éstas en un sentido tan literal que no se cumplen las normas primarias o básicas de la protección radiológica. Con frecuencia, el público y —lo que es más grave— los contratistas y los funcionarios superiores concentran tanto su atención en algunas de las directrices de protección radiológica que no llegan a percatarse u olvidan por completo que tales directrices sólo tienen valor y satisfacen los requisitos en materia de seguridad en tanto estén en conformidad con las normas primarias de protección radiológica. Se tiene la impresión de que, mientras se cumplan ... estas normas secundarias o terciarias, es superflua cualquier otra vigilancia y no hay por qué preocuparse de si se observan adecuadamente las normas primarias...

«Por ejemplo, el responsable de una instalación puede tener un falso sentimiento de seguridad, es decir, estar convencido de que todo marcha bien y sin riesgos siempre que la concentración de los desechos radiactivos líquidos en el punto de descarga y mezcla en un río próximo no exceda nunca del 1% de la concentración máxima admisible, para cualquier combinación de los radionúclidos de que se trate. Sin embargo, esta confianza está fuera de lugar si dicho responsable pierde de vista que los valores de la concentración máxima admisible pueden considerarse todo lo más como normas terciarias.

«Si algunos de estos radionúclidos pueden seguir vías críticas, por ejemplo, si su factor de concentración en el plancton o en las algas es de 1000, y a continuación su factor de concentración en las partes comestibles de determinados peces es de 10, no se ha cumplido probablemente la norma primaria. La dirección de una planta de tratamiento químico daría muestras de una absoluta falta de sentido de la responsabilidad, si tratase de convencer al público de las condiciones de seguridad en que se llevan a cabo las operaciones, basándose exclusivamente en que la concentración del  $^{131}\text{I}$  medida en los límites de la planta no excede nunca del 1% de la concentración máxima admisible, que es una norma terciaria. La explotación no tendrá lugar en condiciones satisfactorias, a menos que se estudien a fondo las vías críticas y la posible reconcentración de dicho  $^{131}\text{I}$  en las glándulas tiroides de los grupos críticos de la población. Por ejemplo, la CIPR y diversos autores han subrayado que, incluso cuando su concentración se mantiene al 10% de la máxima admisible para las personas expuestas por razones profesionales, el  $^{131}\text{I}$  que llega a los pastos de una granja lechera situada en las proximidades de la planta puede pasar, siguiendo la cadena alimentaria, de la hierba a la vaca, de ésta a la leche, y de la leche a la tiroides de un niño de seis meses, de manera que se exceda en uno o

más órdenes de magnitud la norma primaria de la CIPR o dosis anual límite de 0,3 rem en la tiroides del niño.»

Morgan expresó su opinión de que en el simposio de Estocolmo se debería hacer especial hincapié en el hecho de que las cargas radiactivas de los órganos y del cuerpo humano entero puede considerarse todo lo más como normas secundarias. No debe constituir causa de alarma que una persona expuesta profesionalmente a las radiaciones reciba en su esqueleto la carga máxima admisible de  $^{45}\text{Ca}$  que se especifica en la publicación pertinente de la CIPR, siempre que se pueda demostrar que este radionúclido se encuentra distribuido en la matriz del esqueleto de manera que la dosis recibida por la médula ósea activa o por otros tejidos de los huesos no excede —y no excederá como consecuencia de esta carga orgánica— del 10% del valor especificado por las normas básicas primarias de la CIPR. Una de las primeras cuestiones que debieran plantearse sería: «¿Cuál es el tejido crítico y qué dosis recibirá en un año cualquiera o durante un período de 50 años como consecuencia de esta carga orgánica?» o bien, al evaluar el riesgo que corre la persona en cuestión, «¿cuál es la carga orgánica y a qué velocidad se está eliminando del órgano crítico y del cuerpo?» Gran parte de la dosis recibida por el esqueleto puede ser inoperante por cuanto afecte a partes mineralizadas inactivas del hueso (no mitóticas) o a partes no consideradas críticas por lo que respecta a la inducción de tumores. Lo mismo cabe decir del  $^{239}\text{Pu}$  y su concentración en ganglios linfáticos en tejido fibroso no mitótico; se puede considerar que, en este caso, el riesgo es muy pequeño y fácilmente admisible. Sin embargo, el plutonio podría infiltrarse lentamente en la sangre y en el sistema linfático en circulación, y concentrarse en otros órganos críticos de forma que sea excesiva la dosis anual o la dosis comprometida, o ambas, que reciban estos órganos.

#### Programa del simposio

En el simposio se expusieron y sometieron a debate memorias sobre: métodos directos de evaluación, comprendidas las mediciones en maniqués (modelos) y en seres humanos para evaluar la carga corporal, con especial atención a la evaluación de la carga de plutonio y de uranio, al blindaje y a la optimación del equipo de recuento de la radiactividad corporal total; métodos indirectos de evaluación, con especial atención a la medida de los contaminantes contenidos en las excreciones; programas de evaluación de la carga corporal, tales como los trabajos de medición de la contaminación interna de trabajadores expuestos a las radiaciones, dados a conocer por el Centro Bhabha de Investigaciones Atómicas de la India; estudios sobre distribución y dosimetría; estudio de accidentes de la índole del brevemente descrito al comienzo del presente artículo. El simposio finalizó con el debate de un grupo de expertos.

Se esperaba que concurrieran a la reunión participantes de 23 países, y de la Comisión de las Comunidades Europeas, la Agencia Europea para la Energía Nuclear, el Fórum Atómico Europeo (Foratom), la Comisión Internacional de Unidades y Medidas Radiológicas, la Comisión Internacional de Protección Radiológica, la OMS y el OIEA.