

# Vigilancia interna de la incorporación de materiales radiactivos: Nuevos enfoques de la CIPR

*Reseña de las publicaciones de la CIPR en esta esfera*

por A.A. Moiseev y J.C. Nénot

La Comisión Internacional de Protección Radiológica (CIPR) ha formulado recomendaciones sobre los principios de la protección radiológica, principios que han sido utilizados por el OIEA, la Organización Mundial de la Salud (OMS), la Organización Internacional del Trabajo (OIT), y la Agencia para la Energía Nuclear de la Organización de Cooperación y Desarrollo Económicos (AEN/OCDE) para preparar, en 1982, la *versión revisada de las Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica*, en la que se establece una base mundial para la formulación de normas actualizadas y armonizadas de protección radiológica.\* Esa versión revisada de las normas constituyó un nuevo e importante paso en el esfuerzo continuo que realiza el Organismo para reducir los riesgos derivados del uso de materiales radiactivos y otras fuentes de radiaciones ionizantes. La idea fundamental de este principio de la CIPR es el control de los riesgos individuales mediante el establecimiento de límites de dosis especiales, la optimización de la protección radiológica y la justificación de todas las prácticas que entrañen exposición a las radiaciones.

En *General principles of monitoring for radiation protection of workers* de la CIPR y, recientemente, en *Basic principles for occupational radiation monitoring\*\** del OIEA, se han establecido los principios generales que sirven de base a las autoridades y a las personas encargadas de la protección de los trabajadores contra las radiaciones ionizantes, así como a los interesados en la planificación y gestión de la protección radiológica en el trabajo. El principal objetivo de la vigilancia radiológica de los trabajadores es asegurar que las exposiciones se reduzcan al valor más bajo que pueda razonablemente alcanzarse y que no se sobrepasen los límites autorizados.

El tipo de vigilancia radiológica requerida, y su alcance, dependen de las condiciones radiológicas en la zona de trabajo de que se trate y de las condiciones de

radiación inherentes al trabajo. La aplicación de un programa de esa índole requiere una vigilancia total de la radiación interna, entre otros métodos de vigilancia radiológica (es decir, la dosimetría individual para medir las dosis externas, la contaminación de la piel y la ropa, la vigilancia del lugar de trabajo, incluida la determinación de los niveles de radiación, y la contaminación atmosférica y de las superficies). Esto puede lograrse mediante el empleo de aparatos especiales para medir las radiaciones que emite el cuerpo (monitores o contadores de la radiactividad corporal, o contadores de la radiactividad corporal parcial, como el contador del tiroides), o mediante procedimientos de análisis biológico (análisis de orina y de heces fecales), o ambas cosas.

Hasta hace poco tiempo, ha habido falta de información en cuanto a la cadena del sistema de limitación de dosis, límites anuales de incorporación de radionucleidos, principios de la vigilancia interna, e interpretación de los resultados de las mediciones. De conformidad con los principios generales de la CIPR respecto de la evaluación cuantitativa de las exposiciones internas, los programas de vigilancia radiológica basados en esos métodos se deberán concebir y aplicar de forma tal que los resultados puedan utilizarse, bien para evaluar magnitudes primarias (dosis equivalente efectiva integrada durante 50 años) y compararla con los límites primarios, o bien para evaluar la magnitud secundaria (incorporación de radionucleidos) y compararla con el límite anual de incorporación (LAI). Pero el último eslabón de esta cadena —los datos utilizados para convertir los resultados de las mediciones que se hacen a diario en dosis o incorporaciones de material radiactivo— ha sido prácticamente el eslabón perdido. Los esfuerzos realizados en el decenio de 1960 para desarrollar esta parte del programa de vigilancia carecían de base técnica y, por ende, sus resultados no fueron plenamente satisfactorios.\*

## Sistema de limitación de dosis

El sistema de limitación de dosis de la CIPR se basa en el principio de controlar el riesgo inherente a un año de práctica de trabajo. Para traducir este principio en un sistema de limitación de dosis, la CIPR ha introducido el concepto de dosis integrada durante 50 años y ha derivado los valores del LAI a partir de límites de dosis

El Sr. Moiseev es funcionario de la División de Seguridad Nuclear del OIEA. El Sr. Nénot es funcionario del Département de protection, CEA, Institut de protection et de sûreté nucléaire, Fontenay-aux-Roses. Ambos son miembros del Comité N° 4 de la CIPR, y el Sr. Nénot ha presidido el grupo especial que elaboró la Publicación 54 de la CIPR.

\* *Normas básicas de seguridad en materia de protección radiológica*, Colección Seguridad, N° 9, Edición de 1982, OIEA, Viena (1983).

\*\* *General principles of monitoring for radiation protection of workers*, informe del Comité N° 4 de la CIPR, Publicación 35 de la CIPR. *Annals of the ICRP*, Vol. 9, N° 4, Pergamon Press, Oxford (1982); y *Basic principles for occupational radiation monitoring*, Colección Seguridad, N° 84, OIEA, Viena (1987).

\* Véase *Evaluation of radiation doses to body tissues from internal contamination due to occupational exposure*, informe del Comité N° 4 de la CIPR, Publicación 10 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1968); y *The assessment of internal contamination resulting from recurrent or prolonged uptakes*, informe del Comité N° 4 de la CIPR, Publicación 10a de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1971).

integrada durante 50 años iguales a los límites de dosis anuales.

En el control de la exposición a las radiaciones de los trabajadores es indispensable que en un año cualquiera la suma de la dosis equivalente por irradiación externa y de la dosis equivalente efectiva integrada durante 50 años por la incorporación de radionucleidos sea inferior al límite de dosis anual adecuado. Para cada año, será necesario derivar las dosis equivalentes efectivas integradas durante 50 años resultantes de la incorporación de radionucleidos en ese año.

Si bien la aplicación de este método de control de dosis plantea pocos problemas cuando se trata de la incorporación de radionucleidos de período corto o mediano, en el caso de los radionucleidos que el organismo retiene durante períodos más largos se presentan problemas que exigen un examen más detenido. En estos casos, las dosis recibidas realmente durante cualquier año posterior a la incorporación son pequeñas si se comparan con los límites de dosis anuales. La integración de esas dosis durante 50 años equivale a controlar el riesgo inherente mucho más allá del período previsto de duración de la vida del ser humano.

Otro procedimiento posible para calcular las dosis equivalentes efectivas anuales no se ha recomendado; conforme a ese procedimiento, los trabajadores podrían recibir en un año la incorporación de un radionucleido de una magnitud suficiente para limitar su posterior empleo en años futuros. Esto ocasionaría problemas adicionales para llevar los registros, sobre todo en el caso de que el trabajador cambiase de empleo.

### Dosis equivalente integrada durante 50 años

El concepto de dosis equivalente integrada durante 50 años plantea diversos problemas relacionados con el registro de los datos sobre la exposición.

Un trabajador puede soportar la exposición a las radiaciones, ya de fuentes de irradiación externas a su cuerpo, ya de la incorporación a éste de materiales radiactivos. La CIPR exige que las dosis provenientes de todas las fuentes se consideren por sumación, y que estén sujetas al requisito fundamental de los límites de dosis equivalentes establecidos con respecto a los efectos estocásticos y no estocásticos de las radiaciones. Por tanto, para conocer esa incorporación de materiales radiactivos será preciso estimar la dosis equivalente para cada tejido del organismo que reciba un nivel de radiación importante. Los valores del LAI se derivan del concepto de "dosis equivalente integrada" (durante 50 años). No es posible estimar valores específicos si no se tiene un mayor conocimiento del metabolismo de los radionucleidos, lo que entraña la disponibilidad de información completa sobre las propiedades físicas de los radionucleidos incorporados y sobre su metabolismo (absorción, retención y distribución de un radionucleido y de sus hijos por todos los tejidos del organismo). Desde hace mucho tiempo se conocen con bastante precisión las propiedades físicas (en particular, la naturaleza y la energía de las radiaciones emitidas).\* En

cuanto a la elaboración de modelos metabólicos, ésta ha progresado mucho durante los últimos veinte años, como lo demuestra el desarrollo del conocimiento alcanzado entre la aparición de una y otra publicación de la CIPR, en particular entre las publicaciones 2 y 30.\*

En la Publicación 30 de la CIPR se especifican los valores del LAI por ingestión e inhalación de un gran número de radionucleidos, lo que garantizará que los límites de dosis para los diferentes tejidos no sobrepasen los prescritos por la Comisión. Esta publicación tiene por objeto ofrecer una información completa sobre el destino último de los radionucleidos después que se incorporan al cuerpo humano (es decir, se indica la función de retención de cada uno de los órganos y tejidos involucrados).

Para hablar con precisión, los programas de vigilancia radiológica individual de la exposición interna por lo general no pueden basarse en el modelo y los datos que distinguen los rasgos específicos del metabolismo de un trabajador determinado, ya que no se conocen de antemano con suficiente detalle. Si se determinan con posterioridad, su empleo (que entraña la elaboración de diferentes programas para diferentes personas) no se justificaría en situaciones caracterizadas por bajos niveles de exposición. En tales situaciones se emplean modelos generales.

En la Publicación 30 también se describen modelos generales del metabolismo de personas adultas y modelos relacionados con los distintos elementos químicos, los cuales se utilizan para determinar los límites secundarios básicos de las exposiciones internas de los trabajadores. Los límites anuales de incorporación se emplean para elaborar los planes de protección y son el resultado de la selección de parámetros e hipótesis más conservadores que realistas o normales. Tampoco suelen describir de manera adecuada la materia excretada y la fase temprana del metabolismo, que apenas importan para determinar el valor del LAI, pero que podrían ser útiles para la vigilancia radiológica.

No obstante, la sencillez del sistema de la CIPR, independientemente de la edad o el sexo del trabajador, es una característica ventajosa que puede importar más que la desigualdad que introduce.

Los resultados de esas prácticas de vigilancia no aportarán ninguna información significativa sin una interpretación ulterior, aun en circunstancias excepcionales (por ejemplo, la vigilancia directa del yodo radiactivo en la glándula tiroidea o la estimación de agua tritiada en la orina después de alcanzado el equilibrio subsiguiente a la incorporación). Para obviar las dificultades en la interpretación de los resultados de las mediciones en la esfera de la contaminación interna, el Comité N° 4 de la CIPR ha preparado una nueva publicación titulada *Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation*\*,

\*\* *Recommendations: ICRP report of Committee 2 on permissible dose for internal radiation*, 1959, Publicación 2 de la CIPR, Pergamon Press, Oxford (1960); y *Limits for intake of radionuclides by workers*, Publicación 30 de la CIPR, Parte I, *Annals of the ICRP*, Vol. 2, N° 3/4, Pergamon Press, Oxford (1979).

*Individual monitoring for intakes of radionuclides by workers: Design and interpretation*, informe del Comité N° 4 de la CIPR, Publicación 54 de la CIPR, *Annals of the ICRP*, Vol. 9, N° 4, Pergamon Press, Oxford (1988).

\* *Radionuclide transformations: Energy and intensity of emission*, Publicación 38 de la CIPR, *Annals of the ICRP*, Vols. 11 a 13, Pergamon Press, Oxford (1983).

documento que ha sido aprobado por la comisión principal de la CIPR.

Después del examen de los principios de la vigilancia radiológica individual y del uso de los niveles de referencia derivados en esta operación, en la publicación se describen los modelos metabólicos que se han empleado para determinar las funciones de retención y excreción de los radionucleidos. A continuación se analizan ampliamente los métodos de vigilancia, por una parte mediante medición directa en el individuo y por la otra, mediante análisis radiotóxicológicos de la excreta. Se ha dedicado un estudio especial al difícil problema del control ulterior de la exposición de los actínidos. La última parte de la sección general del documento, que trata sobre los programas de vigilancia radiológica, se basa en la síntesis de las recomendaciones de las publicaciones 26, 30 y 35 de la CIPR, y en ella se toman en cuenta los problemas prácticos que afrontan los encargados de realizar el control periódico de las personas expuestas. Por una parte, esos programas se refieren a la denominada vigilancia de rutina, relativa al control periódico individual de personas que de manera permanente realizan trabajos que las someten al riesgo de exposición interna. Por otra parte, se refieren a la vigilancia especial que se lleva a cabo a raíz de un accidente, o cuando un trabajo excepcional presenta un riesgo de exposición significativo.

La interpretación de los resultados de las mediciones (a saber, la conversión de la carga corporal, o de la excreción en incorporaciones o dosis) constituye el elemento fundamental de la vigilancia radiológica, y las decisiones relativas a la protección contra la irradiación pueden depender tanto del individuo objeto de estudio como del lugar de trabajo. No obstante, conviene hacer una clara distinción al interpretar los resultados de las mediciones. En la vigilancia de rutina, bastará con examinar los modelos metabólicos y dosimétricos normalizados y utilizar, en particular, los parámetros biológicos definidos para un individuo medio. Esto se justificaría en condiciones normales de trabajo. Por el contrario, si se observa un aumento en la exposición, o si tiene lugar un suceso cuya importancia queda confirmada por los resultados iniciales de la vigilancia especial, es conveniente, en la medida de lo posible, recurrir a la elaboración de modelos más específicos para el caso en estudio.

### Limitaciones de tipo práctico

Los programas de vigilancia radiológica individual que se proponen en la Publicación 54 responden también a varias limitaciones de índole práctica. En particular, se deberían poder interpretar correctamente los resultados de las mediciones si la persona expuesta ha trabajado por un período corto o largo, si se le ha asignado un lugar de trabajo fijo o si realiza un trabajo sumamente móvil y, por último, si se conocen o si son bastante inciertas las condiciones de exposición (por ejemplo, los momentos de incorporación). En la Publicación 54 se presenta un enfoque original de este problema en cuanto a la selección del intervalo entre dos pruebas de vigilancia radiológica de rutina. Su objetivo es limitar los

errores en la interpretación de los resultados, sea cual fuere el momento (por lo general desconocido) de los períodos de contaminación. Esta selección ha obedecido también a la necesidad de mejorar la gestión de los programas de examen, que se pueden complicar rápidamente en el caso de instalaciones con gran número de trabajadores. Otra preocupación ha sido crear normas de interpretación y decisión fáciles de entender y utilizar. Con mucha frecuencia, la vigilancia de la contaminación individual sólo representa una parte del trabajo de las personas encargadas de establecerla y ponerla en práctica. En tal sentido, los niveles de referencia derivados, junto con algunas normas sencillas para adoptar decisiones en caso de que esos niveles se sobrepasen, conforman la base esencial para el control periódico individual. La comparación directa de los resultados de las mediciones con esos niveles permiten conocer de inmediato la magnitud de la contaminación, así como las medidas que habría que tomar.

El apéndice de la Publicación 54 es extenso. En él se brindan los datos indispensables para llevar a cabo la vigilancia radiológica individual de la exposición interna a los radionucleidos que suelen encontrarse en la industria nuclear, en los trabajos de investigación y en las aplicaciones médicas y farmacéuticas de los radisótopos. Sólo se prevé la exposición por inhalación. Los otros modos de incorporación se deben a incidentes en los que se realiza una investigación y se adoptan medidas especiales según las particularidades de cada caso.

Se ofrece una descripción del metabolismo y de los efectos de la terapia aplicable para reducir la carga corporal respecto de cada uno de los elementos incluidos. A continuación se examinan los diversos isótopos relacionados con cada elemento. En primer lugar, se hace una reseña recapitulativa de las principales emisiones para facilitar su detección; después, se enumeran las técnicas de medición y sus límites de detección; y, por último, se resumen los factores de dosis (sievert por bequerelio inhalado), los valores del LAI y las concentraciones derivadas en aire (CDA).

Se proporciona una información pormenorizada sobre la vigilancia de rutina y especial. Respecto de la vigilancia de rutina, para cada isótopo se propone una lista de intervalos entre exámenes que permitiría interpretar los resultados de las mediciones sin errores excesivos. Se ofrecen los datos relacionados con la vigilancia especial para los primeros 7 días siguientes al incidente. Respecto de cada una de las mediciones pertinentes, la Publicación 54 contiene una lista de la actividad medida como fracción de la incorporación y de los niveles de investigación derivados. También se ofrece información sobre los valores de retención y excreción de los radionucleidos en equilibrio tras una incorporación crónica diaria de una actividad igual a LAI/365. Finalmente, la retención y excreción de cada isótopo como fracción de la carga corporal se presenta en forma de curvas, por un período de 10 000 días después de la inhalación, para tres tamaños de partículas.

La Publicación 54 es, ante todo, un documento técnico destinado al personal de protección radiológica que se ocupa de aplicar a la vigilancia radiológica individual de la contaminación interna las recomendaciones publicadas por la CIPR en relación con otros aspectos.