

progresos en la esfera de la detección de las radiaciones

La eficacia de un programa de protección radiológica tiene que ser comprobada mediante un sistema adecuado de vigilancia. En un simposio celebrado recientemente por el OIEA, se examinaron los progresos en la esfera de los detectores de radiaciones que pueden ser empleados para medir distintos tipos de radiación, y de los indicadores biológicos de dosis de irradiación, que podrían llegar a tener verdadera utilidad.

El programa del simposio fue muy amplio. En el curso de las ocho sesiones de trabajo se presentaron memorias que versaban sobre los métodos y técnicas de calibración, la comparación de las características de los detectores, y la elección de detectores adecuados para fines especiales de vigilancia radiológica, así como sobre los progresos conseguidos con respecto a los llamados «dosímetros biológicos», como, por ejemplo, las aberraciones cromosómicas, cuyo análisis permite evaluar la dosis de irradiación. Participaron en la reunión, que duró una semana, unos 160 científicos de 29 países y de cuatro organizaciones internacionales.

En la sesión de apertura, el Profesor Ivan Zheludev, Director General Adjunto de Actividades Técnicas, recordó a los presentes que el Organismo había desempeñado un papel importante en la organización de otros simposios — sobre dosimetría individual en caso de exposición accidental a las radiaciones, evaluación de la radiactividad en el hombre, y medidas a adoptar en caso de accidente nuclear — en 1964, 1965 y 1969. Actualmente, el Departamento de Investigaciones e Isótopos ayuda a los Estados Miembros a mejorar las técnicas dosimétricas por medio de un servicio de comparación organizado por el OIEA conjuntamente con la Organización Mundial de la Salud; participan en esta labor más de 200 centros de más de 45 Estados Miembros. En el marco de un proyecto ejecutado conjuntamente con la OMS se están montando laboratorios de patrones secundarios en varios países.

Los trabajos experimentales de comparación fueron expuestos en una memoria presentada por el Dr. G.A. Dorofeev, de la División de Salud, Seguridad, y Tratamiento y Evacuación de Desechos Radiactivos, del OIEA, memoria que él mismo había preparado en colaboración con el Dr. S. Somasundaram, del Centro «Bhabha» de Investigaciones Atómicas de Bombay (India) y ex funcionario del Organismo. Los autores señalaron que el problema de la medición de las radiaciones y de la vigilancia de la exposición del personal a las radiaciones en los

centros de energía nuclear reviste gran importancia para garantizar la seguridad radiológica, y que para efectuar mediciones exactas y fidedignas es necesario calibrar con gran precisión los instrumentos, a fin de determinar la relación entre el valor marcado por un instrumento de medición y la verdadera cantidad medida.

El empleo de métodos relativos de medición es muy corriente en la esfera científica, pero en protección radiológica las mediciones se efectúan en unidades absolutas de dosis, concentración, densidad de flujo, etc. Los resultados de las mediciones se anotan en registros. Además, pueden emplearse medios especiales para reproducir exactamente las cantidades a medir, y así calibrar los instrumentos de medición que han de emplearse en la práctica.

El Dr. Dorofeev y el Dr. Somasundaram señalaron el hecho de que en la mayoría de los países en desarrollo no existen centros en los que pueda efectuarse la calibración de instrumentos y de fuentes. Por ello, esos países se ven obligados a solicitar la ayuda de centros del exterior a fin de conseguir la calibración de patrones secundarios (tanto para instrumentos como para fuentes), empleando seguidamente esos patrones para la calibración del instrumental de laboratorio y de campo.

Al objeto de evaluar la exactitud y el grado de confianza de las mediciones efectuadas con fines de protección radiológica en laboratorios de los Estados Miembros, se decidió invitar a buen número de éstos a participar en un programa experimental de comparación. Se envió a cada laboratorio un juego de cinco dosímetros luminiscentes de vidrio, y se les pidió que irradiasen dos de ellos a razón de unos 500 mR cada uno en condiciones distintas (a diferentes distancias de la fuente, o con distintas fuentes, o con instrumentos que fuesen patrones secundarios diferentes), y otros dos a razón de 1 R aproximadamente cada uno, también en distintas condiciones. El quinto dosímetro no había de ser

Los participantes en el simposio, en un momento de la sesión de apertura. Foto: Schikola



irradiado, pero sí conservado juntamente con los demás, con el fin de controlar las condiciones ambientales en el laboratorio y durante el transporte. Después de proceder a dicha irradiación, los cinco dosímetros habrían de ser devueltos al Organismo para su lectura.

Se comprobó que, en la mayoría de los casos, los resultados (que se presentan en forma gráfica en la Figura 1) se hallaban muy próximos a los valores de exposición indicados *por los laboratorios*. Algunas desviaciones de importancia podrían obedecer a errores cometidos durante la irradiación o a indeterminaciones en la medición de la intensidad de exposición en el caso de los campos gamma empleados; otras pudieran también deberse a arañazos en los vidrios o a roturas en el borde de los mismos, en cuyo caso la radiación dispersada habría contribuido considerablemente al aumento de la dosis medida. En operaciones posteriores podrían modificarse los procedimientos experimentales y aumentarse la exactitud de las mediciones. No obstante, cabe considerar este experimento como un primer paso hacia la consecución de una mayor normalización.

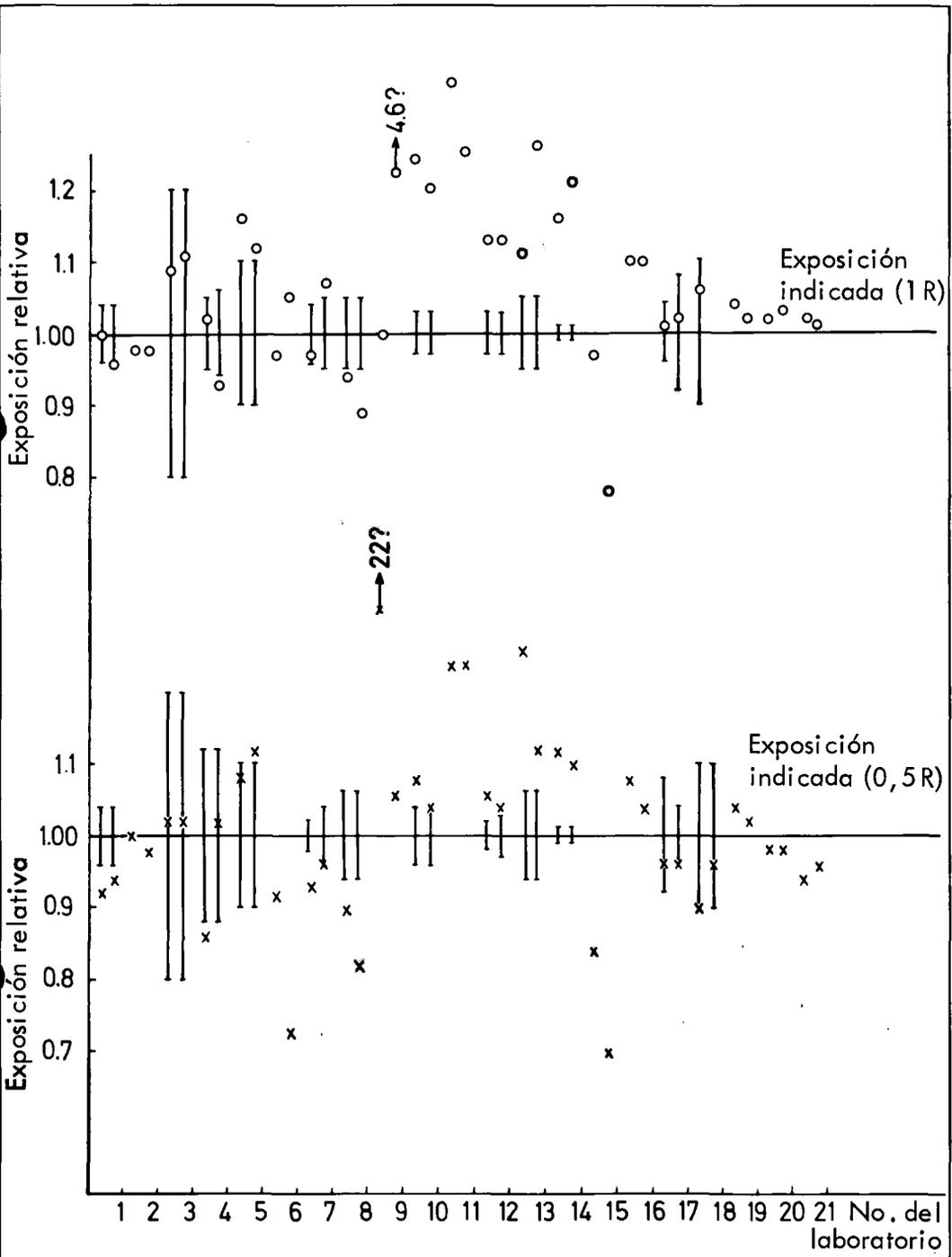
Aspectos físicos de las mediciones

Durante los cuatro primeros días del simposio, los participantes describieron y discutieron una amplia variedad de dispositivos para uso en dosimetría, así como las correspondientes técnicas de calibración. Una opinión personal que pareció recibir amplio apoyo fue la expuesta en una memoria presentada por el Dr. H. Brunner, Subjefe de la División de Higiene Radiofísica del Eidgenössisches Institut für Reaktorforschung de Würenlingen (Suiza).

«La vigilancia radiológica», dijo, «ya no es una distracción apasionante a que sólo nos dedicamos cuando tenemos tiempo para divertirnos con juguetes nuevos, sino que se ha convertido en una profesión como tantas otras. Los dispositivos para la detección de radiaciones hemos de considerarlos como herramientas de trabajo que han de ser perfeccionadas con arreglo a especificaciones exactas y que han de emplearse para trabajos de vigilancia radiológica perfectamente definidos, con miras a obtener datos susceptibles de interpretación en lo que respecta a la reglamentación sobre protección radiológica, o bien a la exposición de las personas.»

«Para la mayor parte de los problemas corrientes hay soluciones adecuadas. Una buena cooperación internacional entre los físicos sanitarios, los fabricantes y las autoridades, y el confiar a la investigación y a la industria los problemas cotidianos, así como el mejor aprovechamiento de los medios disponibles, nos ayudará a conseguir nuestro objetivo fundamental: una protección radiológica adecuada en cualesquiera condiciones.»

Con esto no se pretenderá negar el valor de la investigación fundamental sobre nuevos tipos de detectores de radiaciones. Por ejemplo, se manifestó interés por un detector de silicio del tipo de «avalancha» descrito por G.C. Huth y P.J. Moldofsky, de la Space Technology Products (de la General Electric Co.), y realizado con arreglo a un contrato de la Comisión de Energía Atómica de los Estados Unidos. Este detector, análogo a un contador proporcional, podría, en opinión de los autores citados, abrir el camino para el empleo de isótopos emisores de radiaciones de baja energía, que antes no podían ser utilizados, y permitir trabajos clínicos y experimentales que hasta ahora no era posible efectuar. La radiación ionizante incidente induce la formación de pares hueco-electrón en la región proporcional o de «deslizamiento»



Resultados del experimento

del semiconductor, y la «avalancha» resultante de cargas a través de la unión p-n tiene como efecto una amplificación de la carga recibida multiplicándola por un factor de 100 a 300.

El Dr. Huth señaló que, si se emplease este tipo de detector, la radiación gamma incidente de 22 keV emitida por una fuente de cadmio-109 produciría en la salida una energía equivalente a 2,2 MeV (lo que supone una ganancia de 100), de forma que las radiaciones cuya señal de salida quedaría, en otras condiciones, bajo el nivel de ruidos del detector, alcanzando, aproximadamente, el 50% de dicho nivel, darían una señal que rebasaría ese límite 50 veces. De manera análoga, los rayos X incidentes de 3,31 keV, del calcio-41, que se hallarían por debajo del nivel de ruidos en otros detectores de estado sólido a la temperatura ambiente, producirían una señal de salida equivalente a la de rayos X de 331 keV, que incidieran sobre un detector de silicio no amplificador.

Medición de la carga corporal

«De este forma», dijo el Dr. Huth, «los isótopos *emisores de radiaciones* de baja energía, que antes no se podrían utilizar en trabajos in vivo sin enfriamiento a muy baja temperatura para reducir el nivel de ruidos del detector, pueden ser ya detectados muy por encima de dicho nivel. Y añadió: «Con el empleo de detectores típicos es posible detectar radiaciones beta de sólo 5 keV, e incluso radiaciones gamma y rayos X de 1 keV, y en el terreno experimental, se ha empleado el detector de «avalancha» para detectar rayos X de 380 eV.»

Un detector de este tipo podría ser útil en los estudios del plutonio fijado por inhalación en los pulmones, cuando la carga máxima admisible fuera de 16 nCi y resultase necesario el recuento con baja actividad de fondo. Este radioelemento sumamente tóxico fue medido mediante la detección de rayos X de 13,6, 17,4 y 20,5 keV de la capa L del uranio descendiente; los compuestos isotópicos típicos de plutonio, producidos recientemente, emitieron sólo de 4 a 8 de esos rayos X de baja energía por cada 100 partículas alfa.

De una serie de estudios a largo plazo realizados con perros, resultó que el $^{239}\text{PuO}_2$ inhalado en forma de partículas pasaba de los pulmones a los nódulos linfáticos torácicos de tal forma que, transcurridos diez años, el 60 por ciento de la carga corporal se hallaba en esos nódulos. Esto sugirió al Dr. Huth y a sus colaboradores la idea de que sería útil disponer de un medio para la medición interna de la actividad en los nódulos linfáticos traqueobronquiales y mediastínicos, por lo que fabricaron prototipos de un detector de «avalancha» para ser colocados en el esófago, en la proximidad de dichos nódulos. Ello permitió reducir hasta sólo 1 cm la distancia fuente-detector, e hizo posible medir radiaciones de baja energía que, por su baja penetración en el tejido, no hubieran podido ser objeto de medición externa.

El Dr. Huth dijo que, como ejemplo de aplicación clínica del detector de «avalancha», podía citarse un estudio sobre los efectos del tratamiento hormonal y quimioterápico de los tumores malignos del pecho, por medición de la absorción del fósforo-32 en función del tiempo transcurrido desde el comienzo de esa terapia. Era de esperar que, sobre la base de la investigación realizada con ayuda del ^{32}P , pudiera decidirse un tratamiento adecuado con mayor rapidez que hasta la fecha, administrándose dosis de ^{32}P menores que las que antes se necesitaban. El Dr. Huth y sus colaboradores manifestaron la esperanza de que el disponer de un detector de las características descritas, contribuiría a

intensificar el interés por los trabajos clínicos con bajo índice de recuento y bajas energías, permitiendo reducir las dosis administradas a los pacientes, así como el interés por los isótopos que hasta ahora no se utilizaban por falta de un sistema de detección adecuado.

Detectores termoluminiscentes y de otros tipos

Las memorias presentadas durante el simposio trataron, en una gran mayoría, de las novedades en materia de detectores exoelectrónicos o termoluminiscentes, dispositivos semiconductores tales como el descrito anteriormente, contadores proporcionales y de centelleo, y otros medios físicos de medición de las dosis de irradiación. Uno de los autores señaló que, entre las sustancias fluorescentes empleadas en los dispositivos termoluminiscentes, el fluoruro de litio figuraba «claramente en primer lugar»; en efecto, la mitad, aproximadamente, del total de trabajos sobre este tema, reseñados en la publicación «Nuclear Science Abstracts» en 1969, trataba de este compuesto. El autor atribuyó esto al hecho de que el fluoruro de litio, el borato de litio y el óxido de berilio se asemejan al tejido humano en cuanto al número atómico, por lo que no es preciso ningún blindaje para evitar una respuesta excesiva a los rayos gamma de energía inferior a 100 keV; además, dijo, el LiF presentaba otras características ventajosas.

La última mañana del simposio estuvo dedicada a las novedades en materia de dosímetros biológicos. En la primera memoria presentada sobre este tema, el Profesor H.J. Evans, de la Medical Research Council Clinical and Population Cytogenetics Unit, Western General Hospital, Edinburgo (Reino Unido), recordó el primer estudio crítico de la relación entre el número de aberraciones cromosómicas y la dosis había sido efectuado por Karl Sax, unos 30 años atrás. «No cabe la menor duda», continuó diciendo el Profesor Evans, «... de que para cualquier tipo determinado de célula, dentro de una especie dada, expuesta uniformemente a una radiación de calidad conocida y en condiciones bien definidas y controladas, existe realmente una relación muy estrecha entre el número de aberraciones inducidas y la dosis absorbida. Esta relación ... es la condición previa indispensable para todo dosímetro biológico.»

Las aberraciones cromosómicas como indicación de la dosis

En el curso del último decenio, un gran número de equipos de investigadores realizaron estudios sobre las aberraciones cromosómicas radio-inducidas en linfocitos humanos, expuestos *in vivo* o *in vitro*, habiéndose acopiado una abundante información relativa a la respuesta de dichas células. Varios grupos de investigadores han intentado emplear en la práctica este sistema para evaluar la dosis en casos de exposición accidental de individuos a las radiaciones.

Para que esto sea posible, dijo el Profesor Evans, hemos de ser capaces de efectuar una extrapolación que, partiendo del número de aberraciones determinado en células tomadas de una persona irradiada, nos lleve a un número de aberraciones conocido, obtenido experimentalmente; en otras palabras: tenemos que disponer de una curva de dosis para fines de calibración. En segundo lugar, sabemos, por los trabajos realizados con otras especies, que en la frecuencia de las aberraciones influye muy considerablemente una gran variedad de factores físicos y biológicos.

«A pesar de todas las variables» (incluida la edad del sujeto, el tiempo transcurrido entre la irradiación y la toma de la muestra, y las condiciones en que se cultivan las células en el laboratorio) «podemos

detectar aberraciones con dosis de incluso sólo 10 rads empleando rayos X de tipo corriente y, en un determinado laboratorio en el que las condiciones de cultivo se hallen normalizadas y se fijen las variables, podemos conseguir una precisión excelente. De este modo, en lo que se refiere a la irradiación uniforme del cuerpo humano entero, me siento optimista.»

El Profesor Evans hizo observar, sin embargo, que este optimismo no se extendía a los casos en que la exposición de una persona tiene sólo lugar en una parte del cuerpo.

«Si la repartición de las aberraciones entre las células fuera aleatoria, ajustándose a una distribución de Poisson, si el número de aberraciones aumentase proporcionalmente a la dosis, si no hubiese ninguna selección celular diferencial ni índices diferenciales de desarrollo de células en cultivo no irradiadas e irradiadas, y si hubiese en el interior del cuerpo una mezcla continua, rápida y completa de linfocitos, entonces sería posible obtener estimaciones razonables de las dosis equivalentes en el cuerpo entero, en casos de exposición corporal parcial y relativamente no uniforme....» «Por desgracia, sólo se cumple una de esas condiciones: la de la distribución aleatoria de las aberraciones entre las células irradiadas.»

Recuento de las aberraciones

Otros dos autores, G.W. Dolphin y R.J. Purrot, del Servicio de Salud y Seguridad de la División de Protección Radiológica de la Atomic Energy Authority del Reino Unido, en Harwell (Reino Unido), expusieron en una memoria, preparada en colaboración, lo que viene a representar otra limitación práctica de esta modalidad de dosimetría. Las células se recuentan, para determinar las aberraciones cromosómicas, después de ser cultivadas *in vitro*; el número de células contadas bajo el microscopio depende a la vez del personal disponible en el laboratorio, y de la importancia de cada caso particular. Los mencionados autores manifestaron que una persona muy diestra sólo podía contar por término medio 50 células diarias, cuando esta operación se prolonga mucho tiempo; este trabajo debe, pues, distribuirse cuidadosamente, teniendo en cuenta los otros trabajos que haya que realizar. En 26 investigaciones efectuadas durante los dos últimos años en el laboratorio de los autores, el número de células contadas nunca fue inferior a 100 y, en dos casos, había llegado a 1000.

No obstante, incluso en su etapa actual, esta técnica ha demostrado ser de utilidad por lo menos para un trabajador expuesto a las radiaciones. El Dr. Dolphin y el Dr. Purrot describieron un caso en el que se sospechaba que un hombre había sufrido una sobreexposición — presentaba quemaduras en los dedos de la mano debidas a las radiaciones — en un momento en el que no llevaba sobre su persona un dosímetro de película. La pregunta que se planteaba era la siguiente: «¿Debía este hombre continuar trabajando expuesto a las radiaciones, desde el punto de vista de la exposición corporal total?» La respuesta, deducida de un análisis de las aberraciones cromosómicas, fue que podía hacerlo sin riesgo alguno. Por tanto, se estimó que esta modalidad de dosimetría podía resultar útil para tranquilizar a personas que se hallasen en situación análoga.

Es imposible abarcar en el presente artículo todas las memorias presentadas, ni siquiera todos los temas discutidos. Es de esperar, sin embargo, que las «Actas» del simposio se publiquen dentro de pocos meses.