

# EXPOSICION A DOSIS ELEVADAS DE RADIACION: PROGRESOS DE LA DOSIMETRIA

Si una persona queda expuesta accidentalmente a radiaciones de muy alta intensidad, es importantísimo determinar sin demora y con la máxima exactitud posible la dosis que ha recibido. De esta manera se averiguará si precisa asistencia médica o si debe quedar en observación y además se complementarán las observaciones clínicas con datos de gran interés para el eventual tratamiento.

En el Simposio sobre vigilancia dosimétrica del personal en los casos de exposición accidental a dosis elevada de radiaciones externas e internas, patrocinado por el OIEA y la Organización Mundial de la Salud y celebrado en Viena del 8 al 12 de marzo de 1965, se discutió acerca de la evaluación de las dosis recibidas en caso de exposición accidental a campos radiatorios externos, en caso de penetración de sustancias radiactivas en el organismo, o en caso de contaminación radiactiva por depósito de materias en la superficie del cuerpo. Asistieron al Simposio 179 participantes de 34 países y cinco organizaciones internacionales. La reunión era de carácter especializado y de alcance bastante restringido, ya que formaba parte de una serie de reuniones sobre temas afines: por ejemplo, el Organismo celebró en mayo de 1964 un Simposio sobre los métodos generales para evaluar la carga corporal radiactiva del cuerpo humano, y en colaboración con la OMS convocó en octubre de 1960 y en octubre de 1962 otras dos reuniones sobre los aspectos médicos de las radiolesiones y del envenenamiento radiactivo.

Inauguró el Simposio el Sr. Gennady A. Yagodin, Director General Adjunto de Actividades Técnicas del OIEA, con un discurso en el que dijo: «Es muy alentador que hasta la fecha haya habido tan pocos accidentes con exposición de personas a dosis excesivas de radiación pues así no se ha perturbado el desarrollo del empleo de la energía atómica y de las radiaciones ionizantes en beneficio de la humanidad». El Sr. Yagodin continuó diciendo: «Sin embargo, es indispensable disponer de métodos de dosimetría que den datos del tipo requerido, y en el momento preciso para que el médico pueda asistir debidamente a las personas que como resultado de un accidente hayan recibido una dosis excesiva de radiación por exposición a las radiaciones externas, por absorción de sustancias radiactivas o por contaminación radiactiva de la superficie de su cuerpo.»

Aproximadamente la mitad de las sesiones se dedicaron al examen de las técnicas de medición de las radiaciones externas, discutiéndose detenidamente las diversas clases de dispositivos de alarma, registro y vigilancia y los dosímetros individuales. A continuación se estudiaron otros métodos complementarios, como la evaluación de la dosis neutrónica por análisis sanguíneo o capilar y los experimentos efectuados con «fantasmas» de polietileno para calcular las dosis que es probable recibir en circunstancias determinadas. Hubo otras sesiones dedicadas a la determinación de la conta-

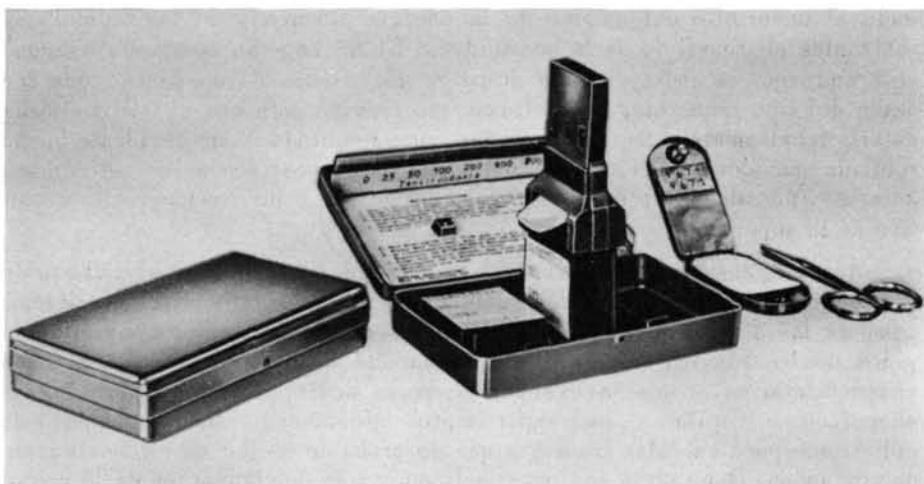
minación interna y a la evaluación de las dosis en condiciones muy diversas. El último día se consagró a la «Experiencia adquirida y procedimientos seguidos en diversos centros». Uno de los aspectos de mayor interés fue el de los accidentes de criticidad con la consiguiente irradiación neutrónica, ya que estos accidentes provocan dosis de exposición muy elevadas.

## FINALIDAD DE LA DOSIMETRIA

En su disertación inicial, G.A. Andrews, J.S. Auxier y C.C. Lushbaugh (Estados Unidos) destacaron lo sorprendentemente escasos que han sido los accidentes radiológicos mortales o graves que se han producido, en relación con el elevado número de personas que desde 1940 se exponen a los riesgos de la industria atómica. Como ejemplo de caso extremo de irradiación excesiva, estos tres investigadores citaron las irradiaciones agudas del organismo entero producidas por una fuente exterior. Cuando las radiaciones son poco penetrantes se tropieza con dificultades particulares porque los efectos cutáneos *no guardan proporción con los que se observan en la sangre o en los órganos internos*. De modo similar, cuando diversas partes del cuerpo quedan expuestas en forma desigual a radiaciones de gran poder de penetración, su respuesta varía y es difícil – si no imposible – determinar la dosis recibida. Lo normal es que la irradiación *no sea uniforme*, y hay que recurrir al sentido común para determinar desde qué momento no se puede confiar ya implícitamente en la dosimetría o en una respuesta biológica específica. Sería preciso que una persona se encargara de anotar cuidadosamente todos los sucesos pertinentes y el momento exacto en que se produjeron. Hay razones para suponer que en los centros nucleares importantes, que emplean no sólo sistemas de vigilancia individual sino también de otras clases, se pueden evaluar las dosis de una a tres horas después de la exposición con un margen

---

Aparato de bolsillo para revelar películas en un solo baño (Foto: F. Wachsmann).



de exactitud de  $\pm 25$  por ciento, a menos que se trate de una exposición muy desigual. Los estudios dosimétricos se hacen con fines muy diversos – médicos, medicolegales, administrativos o científicos – y aunque un mismo estudio puede servir para más de una finalidad, hay que tener siempre muy en cuenta los requisitos peculiares del objetivo principal que se persigue. Según K.P. Duncan y H.J. Dunster (Reino Unido), hay tres fases diferentes en la consecución del objetivo primordial, que es el tratamiento de cada paciente. La primera es decidir si es necesario continuar su tratamiento u observación, para lo cual se requieren métodos dosimétricos rápidos pero no de gran exactitud. La segunda es decidir si es necesario transportarlo a un centro u hospital especializados; para la tercera fase – el tratamiento – hay que tomar decisiones que se basarán más en la observación del paciente que en la dosimetría. Después de esto quizá sean necesarias otras consideraciones cuando haya que decidir qué empleo será adecuado para el individuo en el futuro; la decisión dependerá probablemente de consideraciones jurídicas o administrativas, por cuyo motivo es fundamental separar las implicaciones biológicas de una dosis de irradiación de todos los demás factores. Como las normas y reglamentos nacionales deben basarse en definiciones claras, tales como las enunciadas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, éstas tienden a convertirse en leyes rígidas. Por eso, aunque para evaluar los efectos biológicos se pueda aceptar cierto margen de error dosimétrico, probablemente no sucede lo mismo desde el punto de vista medicolegal. La exactitud numérica que exigen las razones administrativas, medicolegales o científicas no debería prevalecer sobre los criterios fundamentalmente humanitarios.

Desde los comienzos de la técnica nuclear, ha habido en los Estados Unidos 25 accidentes de criticidad, doce de ellos con fuerte exposición de personas. E.J. Vallario (Estados Unidos) describió el sistema proyectado en su país para calcular directa y rápidamente la dosis absorbida en estos casos. Indicó que estos cálculos se necesitan por muchas y muy diversas razones y que no todas requieren datos de la misma clase ni de la misma exactitud. Es preciso combinar el uso de dosímetros fijos y de dosímetros individuales. Los fijos, instalados en puntos determinados de la zona de trabajo, pueden dar un gráfico del campo de dosis, pero para que este sistema sea suficiente habría que saber exactamente dónde estaban las personas afectadas en el momento de la exposición. En cuanto a los pequeños dosímetros individuales, su respuesta depende mucho de la dirección de que provienen las radiaciones, aunque se pueden aplicar correcciones para tener en cuenta el efecto de pantalla del cuerpo del individuo. Estas correcciones se pueden introducir si se trata de radiaciones gamma, pero no en los casos de exposición neutrónica. G. Ganouna-Cohen, Fitoussie y col. (Francia) describieron un dosímetro de bolsillo que emite un sonido cuando la exposición alcanza determinado nivel. En los sitios donde el campo radiatorio es o puede ser intenso no siempre se puede controlar exactamente la dosis recibida por el personal. Cierto es que se pueden usar dosímetros individuales de lectura directa, pero no es fácil consultarlos cuando se llevan vestidos protectores o en condiciones graves de urgencia en las que no es posible prever la intensidad de las radiaciones. Los dosímetros de bolsillo con

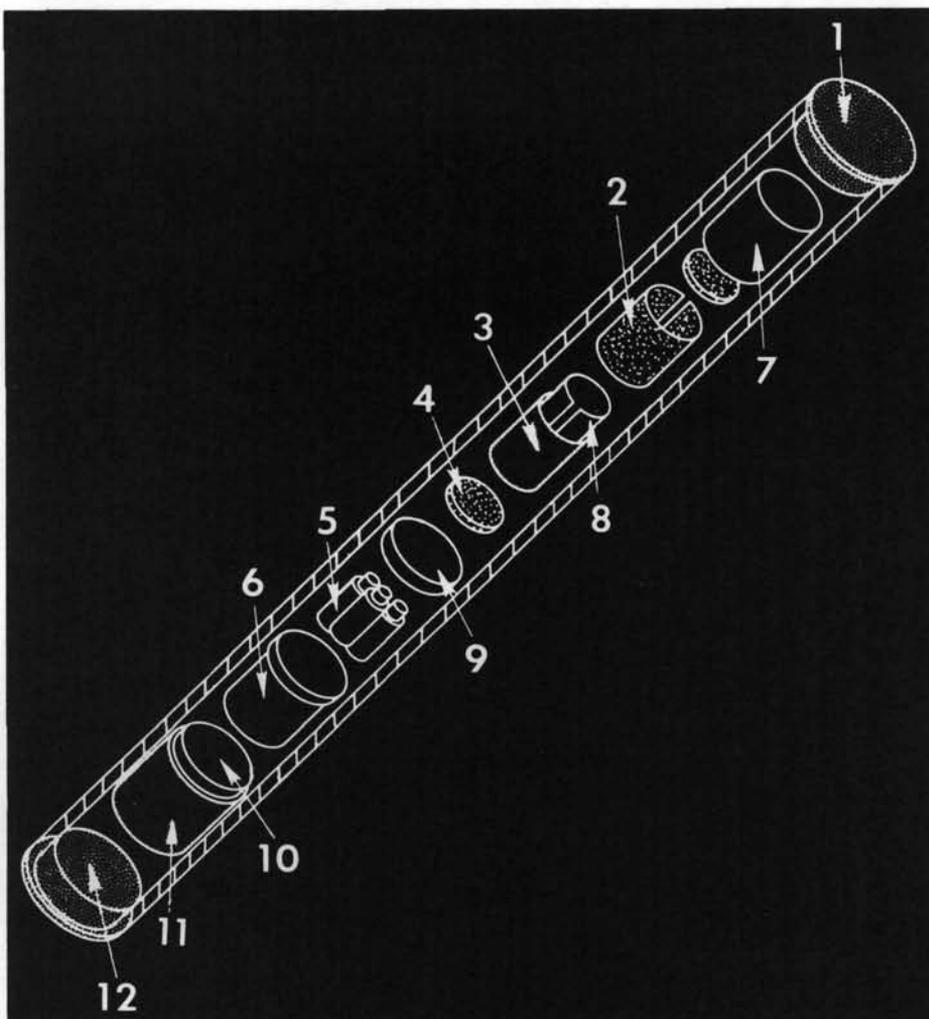
sistema de alarma son adecuados para estos casos a condición de que sean ligeros y autónomos, que se puedan calibrar para dosis absorbidas muy diferentes, y que su manejo sea sencillo y seguro. Los autores de la memoria describieron algunos diseños de esta clase de dosímetros, que se emplean más como dispositivo de alarma que como instrumentos de medida.

## **ANALISIS POR ACTIVACION DE CABELLO Y METALES**

Se discutió mucho acerca de los usos y limitaciones de los dosímetros de película. J. Trousil e I. Bucina (Checoslovaquia) hicieron notar que se dispone de varios métodos para medir un intervalo muy amplio de exposiciones y para leer rápida y exactamente las dosis recibidas. Aunque estos métodos resultan baratos y se pueden utilizar en serie, no son interesantes para los laboratorios que tienen que medir la exposición individual de muchos millares de personas. Por eso, los autores de la memoria han procurado ampliar el intervalo que cubre la dosimetría fotográfica hasta niveles de intensidad más altos sin disminuir la sensibilidad a las dosis reducidas, empleando sólo dos películas. Esto significa que para las exposiciones accidentales a dosis elevadas se pueden emplear los mismos dosímetros de película y el mismo equipo, todo ello manejado por el mismo personal. F. Wachsmann (República Federal de Alemania) describió una película que se revela rápida y sencillamente con un aparato de bolsillo que está siempre en condiciones de empleo. La dosimetría de película es el método más empleado para la vigilancia radiológica del personal, pero tiene el inconveniente de que las películas utilizadas para medir dosis elevadas no se pueden enviar a ningún centro para que las revele y estudie, como se hace con las películas corrientes, sino que se tienen que revelar y medir inmediatamente, quizá por personas inexpertas. Una película de este tipo tiene que poder revelarse con uno sólo baño, y su oscurecimiento no tiene que modificarse siempre que el tiempo de revelado se mantenga entre dos y 20 minutos. Con el procedimiento descrito, una persona puede revelar y medir unas 40 películas por hora sin necesidad de cámara oscura.

K. Becker (República Federal de Alemania) consideró que, a pesar de los últimos adelantos de la dosimetría fotográfica, el vidrio al fosfato es por muchos conceptos superior a la película como dosímetro integrador barato y pequeño. Ofrece ventajas especiales en los casos de exposición accidental, ya que la medición se hace por simple lectura fluorométrica que incluso una persona sin conocimientos técnicos que use un instrumento portátil de lectura puede efectuar en pocos segundos. El dosímetro se puede volver a utilizar inmediatamente después de la lectura y se puede elegir entre conservar los cristales ya expuestos o borrar los efectos de la dosis por tratamiento térmico.

Varias memorias describieron la medición de dosis neutrónicas sin emplear dosímetros físicos. D.F. Petersen (Estados Unidos) describió los métodos que se basan en el efecto activador de los neutrones sobre ciertos elementos químicos – tales como el azufre y el sodio – en los que producen



- |                                        |                                  |
|----------------------------------------|----------------------------------|
| 1) Tapón terminal                      | 7) Recipiente N° 1               |
| 2) Blindaje de cadmio                  | 8) Lámina de cobre               |
| 3) Lámina de indio                     | 9) Tapa del recipiente           |
| 4) Blindaje de cadmio                  | 10) Recipiente N° 3: azufre      |
| 5) Dosímetros gamma termoluminiscentes | 11) Lámina de indio sin blindaje |
| 6) Recipiente N° 2: fluoruro sódico    | 12) Tapón terminal               |

Dosímetro de criticidad utilizado en el establecimiento de Savannah River (W.C. Reinig)

pequeñas cantidades de sustancias radiactivas. Aunque estas cantidades son minúsculas, se pueden detectar y medir con exactitud suficiente para evaluar

la dosis neutrónica. El contenido de azufre del cabello humano es muy constante y no depende del color ni de la distribución anatómica; además, es fácil obtener cabellos en cantidad suficiente para hacer rápidamente un análisis después de la exposición. Para efectuar experimentos controlados se pusieron muestras de cabello en sobres de polietileno que se distribuyeron en un maniquí de plástico lleno con una solución equivalente a los tejidos humanos y se expuso el maniquí a una irradiación intensa. Al analizar las muestras se vio que no sólo se podía evaluar la dosis total sino también las dosis recibidas por las diversas partes del cuerpo. También describieron métodos similares R.L. Lehman y O.M. Fekula (Estados Unidos), que emplean muñecos para estudiar el comportamiento de los neutrones rápidos al penetrar en el organismo humano; esto es importante para evaluar las dosis internas recibidas por personas expuestas a los neutrones emitidos en la fisión nuclear. En el interior y alrededor de los muñecos se colocaron trozos de película de emulsión nuclear en diversas posiciones, y los muñecos se pusieron a distancias de 10 a 200 metros de un reactor pulsante sin blindar. Durante el debate, R. Cowper (Canadá) hizo notar que los oradores habían comentado lo difícil que era obtener muestras de pelo para determinar la distribución de las intensidades neutrónicas en todo el organismo, y dijo que lo más sencillo sería que la ropa de laboratorio llevara incorporados elementos adecuados para poder obtener los datos esenciales con mayor precisión.

C.N. Wright, J.E. Hoy y W.C. Reinig (Estados Unidos) describieron un sistema que corrige por cálculo electrónico el efecto de pantalla producido por el cuerpo humano al interponerse entre el dosímetro y la fuente de radiaciones. Se ha diseñado un dosímetro pequeño y ligero para medir exposiciones neutrónicas y gamma, que cuesta unos 15 dólares; es importante que el precio sea poco elevado porque en el caso de que se trata se necesitaban varios centenares de dosímetros. El aparato contiene indio, cobre, sodio, azufre, y otras sustancias que se hacen radiactivas al exponerlas a radiaciones neutrónicas de diversas intensidades. Inmediatamente después de producirse un accidente nuclear se recogen todos los dosímetros de los trabajadores que se encontraban en las proximidades, se miden las actividades de las sustancias del dosímetro, y se calculan electrónicamente los resultados. Este sistema permite evaluar las dosis recibidas por veinte trabajadores dentro de un plazo de seis horas, y da ya una evaluación preliminar al cabo de una hora. El mismo principio de la activación neutrónica de láminas o discos de metal se emplea en el dosímetro descrito por M. Bricka y J. Cercy (Francia). Las ventajas que ofrecen estos detectores para flujos neutrónicos es que no reaccionan a las demás radiaciones — por ejemplo, a los rayos gamma —, que no necesitan conexiones ni reparación, y que integran correctamente las dosis recibidas.

## LA DOSIMETRIA EN LA PRACTICA

H.M. Parker y C.E. Newton (Estados Unidos) describieron sucesos que no se había hecho públicos hasta ahora al explicar la experiencia adquirida con un accidente de criticidad que afectó a 22 empleados. El accidente ocurrió en Hanford (Estados Unidos) en 1962, en una planta de regeneración

de desechos de plutonio. Al darse la alarma se evacuó el edificio inmediatamente, se sometió sin demora a los empleados que se encontraban en él a un examen preliminar, se midió la contaminación radiactiva y se recogieron los dosímetros. El personal de vigilancia radiológica no tenía gran confianza en el cálculo de las dosis hecho gracias al examen preliminar (destinado sobre todo a determinar qué personas habían podido sufrir una irradiación excesiva), porque el procedimiento no se había ensayado nunca en la práctica y porque las dosis así determinadas resultaron muy inferior a lo que cabía esperar por la distancia que separaba a cada individuo de la fuente de radiaciones; asimismo, se temía que la diferencia entre la intensidad de las radiaciones empleadas para calibrar los dosímetros y la de las radiaciones a que habían estado efectivamente expuestos los empleados hubiera podido introducir un error de magnitud desconocida. Se pudo comprobar que los temores eran infundados y que el procedimiento permitía obtener con gran rapidez resultados suficientemente exactos de las dosis de irradiación neutrónica. Después de estas mediciones preliminares se efectuaron otras más exactas: análisis de muestras de sangre y de cabello, medición de la carga corporal, etc. Algunas sustancias que entraban en la composición de los efectos personales de los empleados expuestos (por ejemplo, el aluminio, cobre y oro de las monedas, joyas, hebillas, plumas estilográficas y relojes de pulsera) fueron analizadas por activación neutrónica, pero el resultado no se utilizó más que para corroborar los valores obtenidos con los dosímetros.

El sistema de dosimetría de urgencia de Hanford, destinado a hacer frente a los accidentes radiológicos graves, fue descrito con todo detalle por H.W. Larson y A.R. Keene (Estados Unidos). En los reactores de producción y de ensayo, en las plantas de fabricación de combustible y en las de separación química, así como en los laboratorios de investigación, hay muchas y muy diversas fuentes de radiación. Las personas que trabajan en el centro han sido adiestradas para que reaccionen rápidamente en caso de alarma y sigan las rutas de evacuación correctas. Tienen que presentarse en zonas fijadas de antemano donde se comprueba si está presente todo el personal y se identifica rápidamente a los que hayan podido recibir dosis excesivas de radiación. Si se ha producido un accidente grave, se llama al personal de urgencia radiológica para que acuda al centro de control de urgencia. Para la evaluación de las dosis se recurre sobre todo al dosímetro individual de Hanford y a los análisis de sangre, etc. El dosímetro utilizado en Hanford consta de película y vidrio para medir la exposición a los rayos beta, gamma y X, de láminas metálicas que reaccionan con la radiación neutrónica, y de una fotografía de la persona que lo lleva para evitar que se equivoque de dosímetro. Así, el dosímetro de uso cotidiano sirve también para registrar una exposición accidental a dosis elevadas. Para poder identificar al portador de una película en el momento del revelado, se perfora en ella el número de identificación del portador. Se conserva constantemente un juego de películas de calibración expuestas a diversas intensidades rayos gamma, que se revelan al mismo tiempo que la película dosimétrica. Estas películas de calibración eliminan algunos valores variables del revelado de la película (tiempo, concentración de la solución, etc.) y ahorran tiempo al permitir que se evalúe la película mientras todavía está húmeda.

Aunque el Simposio reveló muchas diferencias de detalle entre los procedimientos y el equipo empleados en los diversos centros, se observó que el acuerdo era general en las principales cuestiones. Varios oradores consideraron que debían proseguirse las investigaciones para determinar cuál es el mejor sistema.

---

## EL ORGANISMO, EDITORIAL IMPORTANTE

El Organismo se ha convertido en una de las editoriales más importantes de Viena, como consecuencia de sus actividades de difusión de informaciones científicas. Recientemente el Organismo cerró su sexto año de publicación de obras científicas relacionadas con el empleo pacífico de la energía atómica.

Ya desde el principio la labor editorial del OIEA adquirió gran importancia. En 1959, por ejemplo, se publicaron dos volúmenes de la Colección de Actas, uno de la Colección Seguridad y cuatro Catálogos Técnicos, con un total de 18 000 ejemplares sin contar los destinados a la distribución gratuita. El año siguiente aumentaron las reuniones y demás actividades del OIEA y la lista de publicaciones creció considerablemente: seis volúmenes de la Colección de Actas, dos de la Colección Seguridad, dos Catálogos Técnicos, ocho volúmenes de la Colección de Monografías, dos de la Colección de Bibliografías y tres de la Colección de Informes Técnicos, más un volumen de la Colección de Cuestiones Jurídicas y el primer número de «Fusión Nuclear». El número total de volúmenes vendidos ascendió a 24 000 y se distribuyeron gratuitamente gran número de ejemplares. A partir de este momento se tropezó con dificultades para hacer frente a la creciente demanda de publicaciones y comenzó a haber retrasos en los trabajos encargados a las imprentas. En vista de ello se decidió crear dentro del Organismo un servicio de impresión que pudiera hacerse cargo por lo menos de una parte del programa de publicaciones. En 1962 se instaló un sistema «foto-offset» gracias al cual se efectuaron grandes economías y se aceleró la producción. En 1963 se montaron máquinas de impresión y encuadernación y a partir de ese momento el Organismo está en condiciones de desarrollar su programa de publicación sin tener que recurrir a imprentas o servicios del exterior. En la actualidad todas las publicaciones del OIEA, salvo la revista «Fusión Nuclear», se imprimen y encuadernan en el Organismo.