

## DETECCIÓN Y MEDICIÓN DE LAS RADIACIONES IONIZANTES: HISTORIA SUCINTA

por F.N. Flakus\*

La radiación ionizante hace que los átomos o moléculas neutras adquieran carga eléctrica, bien positiva o negativa. Los tipos de radiación ionizante más conocidos son los rayos alfa, beta, gamma, X, y neutrónicos. Las radiaciones consistentes en partículas cargadas, por ejemplo los rayos alfa o beta tienen un efecto ionizante directo; en cambio, el efecto ionizante de las radiaciones neutras, como los rayos X, gamma o neutrónicos, es indirecto, es decir, tales radiaciones generan primero partículas cargadas que, a su vez, producen el efecto ionizante.

La radiación es una forma de energía. Esta energía puede depositarse parcial o totalmente en un medio adecuado produciendo así un efecto determinado. La detección y medición de las radiaciones se basa en la detección y medición de sus efectos sobre un medio, y la historia del nacimiento de los detectores de radiaciones se halla estrechamente vinculada al descubrimiento de las radiaciones y de sus efectos.

Las sustancias radiactivas emiten radiaciones ionizantes sin influencia alguna del exterior. El tipo de radiación emitida y su energía asociada es característico de cada clase de sustancia radiactiva. En muchas aplicaciones de los detectores de radiaciones, la finalidad perseguida es medir la distribución de energías de la radiación (espectrometría).

Aunque la radiación ionizante ha existido en la naturaleza a lo largo de toda la historia de la Humanidad (rayos cósmicos, sustancias radiactivas presentes en el medio ambiente) su existencia pasó inadvertida hasta hace menos de 100 años. El hombre carece de un sentido especial capaz de percibir este tipo de radiaciones, y los científicos no han podido crear instrumento alguno para ampliar una respuesta del cuerpo humano a las mismas como ocurrió, por ejemplo, en la esfera, de las ondas luminosas visibles (óptica).

Según sabemos hoy, los dispositivos para detectar radiaciones ionizantes existían, en principio, en épocas bastantes tempranas: el fenómeno de la termoluminiscencia se describió por primera vez en el siglo XVII; el electroscopio de panes de oro se inventó en el siglo XVIII; y la fotografía nació a comienzos del siglo XIX. Sin embargo, transcurrirían aún muchos años antes de que, en 1895, W.C. Röntgen y, en 1896, H. Becquerel abriesen las puertas de acceso a este campo científico absolutamente nuevo.

\* El Sr. Flakus trabaja en la Sección de Seguridad Radiológica de la División de Seguridad Nuclear del OIEA.

### APARICIÓN DE LOS DETECTORES DE RADIACIONES TRAS LOS PRIMEROS DESCUBRIMIENTOS

En la tarde del 8 de noviembre de 1895, mientras trabajaba en un gabinete cuidadosamente oscurecido, Röntgen observó que un cartón recubierto de platinocianuro de bario emitía una luz verdosa débil y fluctuante (fluorescencia) cada vez que se producían descargas eléctricas en un tubo de Hittorf-Crookes situado cerca de la pantalla. El tubo por su parte se hallaba completamente tapado por una cubierta negra, opaca a toda luz visible. Röntgen verificó que en el tubo se originaba un nuevo tipo de radiación que era invisible, pero que revelaba su existencia al incidir sobre la pantalla luminiscente. Posteriormente, Röntgen llevó a cabo numerosos y meticulosos experimentos en torno a esta radiación, que él denominó rayos X. Su primer avance importante lo obtuvo al sustituir la pantalla fluorescente por una placa fotográfica: ésta era sensible a los rayos X, por lo tanto, brindaba un medio para la obtención de fotografías con dichos rayos.

El 22 de diciembre de 1895, Röntgen hizo la primera fotografía con rayos X par uso médico. Muestra la mano de su mujer y marca el nacimiento de la radiografía. A partir de entonces se utilizaron principalmente placas fotográficas en los estudios de rayos X. La pantalla fluorescente perdió importancia, a pesar de que los fluoroscopio o escioscopios fueron perfeccionados por W.F. Magie, E.P. Thomson y T.A. Edison. En el curso de sus numerosos experimentos sobre los rayos X, Röntgen observó también que el aire se volvía conductor de la electricidad cuando estos rayos lo atravesaban. Este efecto se utilizó posteriormente como principio operativo de varios tipos de detectores de radiaciones. En 1901 se otorgó a Röntgen el primer premio Nobel de Física por su descubrimiento.

Es interesante observar que las valiosas posibilidades que ofrecía el empleo de los rayos X para numerosos fines, tanto médicos como de otra índole, se hicieron inmediatamente evidentes, y que durante el año siguiente, 1896, se publicaron más de 1000 artículos y más de 50 libros sobre este tema. El conocimiento de los nuevos hallazgos se extendió a la par que la ignorancia y la oposición de algunos: se llegó a proponer, por ejemplo, "que se prohibiese en los teatros el empleo de binoculares con rayos X", o también "que se quemasen todas las obras referentes a los rayos X y se ejecutase a sus descubridores". Una empresa "se aprovechó de la ignorancia de muchas mujeres anunciando la venta de ropa interior a prueba de rayos X".

Desde los primeros trabajos, se vio enseguida que la zona del tubo de descarga en la que los rayos catódicos provocaban la emisión de rayos X se caracterizaba por una intensa fluorescencia, y se sospechó que existía una relación entre esta fluorescencia y dicha emisión. Atendiendo a sugerencias de H. Poincaré, en 1896 Becquerel emprendió un estudio sistemático de las relaciones existentes entre la emisión de luz visible y la de rayos X. Tras exponerlas a la luz del sol, envolvía sustancias fosforescentes en papel negro y las depositaba sobre placas fotográficas para detectar toda emisión de rayos X. Dio la casualidad de que Becquerel comenzó sus experimentos con compuestos de uranio muy fluorescentes. Demostró que la presencia de los minerales de uranio se traducía por la aparición de manchas oscuras la placa fotográfica revelada, y que eran emitidos rayos penetrantes semejantes a los rayos X. Cuando, algún tiempo después, reveló una placa fotográfica que había permanecido durante varios días en un cajón debajo de una bandeja con sales de uranio que *no* habían sido expuestas a la luz del sol, descubrió las mismas manchas oscuras en la placa. Repitió el experimento y llegó a la conclusión de que ni la luz del sol, ni la fosforescencia, ni la fluorescencia eran necesarias para producir el efecto, y que tanto los compuestos de uranio como el uranio metálico emitían rayos invisibles. Había tenido lugar, en 1896, el descubrimiento de la radiactividad.

Becquerel siguió investigando detenidamente las propiedades de los rayos. Entre otros hechos importantes, descubrió que descargaban un electroscopio cargado (el electroscopio había sido inventado en 1787 por A. Bennett). Tras el descubrimiento de Becquerel, los científicos iniciaron la búsqueda de nuevos elementos que tuviesen la propiedad de emitir radiaciones.

Como ya se ha dicho, una propiedad de los rayos X que muy pronto se descubrió es su facultad de hacer del aire seco un conductor eléctrico, es decir, de liberar cargas eléctricas en el aire. Estas cargas podían recogerse creando un campo eléctrico a través de la masa de aire. Sin embargo, no fue sino hasta la aparición de los trabajos de J.J. Thomson, en 1899, cuando se conocieron bien las características de funcionamiento de estas cámaras de ionización. Madame Sklodowska Curie comprendió que el método de ionización empleado para medir la intensidad de los rayos X sería muy útil para detectar la radiación descubierta por Becquerel. Equipó con una cámara de ionización adecuada un electrómetro empleado por su marido, Pierre Curie, y repitió los experimentos de Becquerel. El método resultó muy satisfactorio. Madame Curie descubrió que la intensidad de la radiación era proporcional a la cantidad de uranio. En julio de 1898, ella y su marido descubrieron el elemento radiactivo polonio. En diciembre de 1898 anunciaron el descubrimiento del radio. Juntamente con Becquerel, recibieron el premio Nobel de Física en 1903. Fue también Madame Curie quien propuso el nombre de *radiactividad* para el nuevo fenómeno.

Es interesante señalar que, en 1899, J. Elster y H. Gertel, y de manera independiente C.T.R. Wilson, habían descubierto que los electroscopios se descargaban progresivamente sin hallarse en apariencia expuestos a las radiaciones, y aventuraron la hipótesis de que ello se debía a la existencia de radiactividad en la tierra. La desviación de una parte de los "rayos de Becquerel" al pasar por un

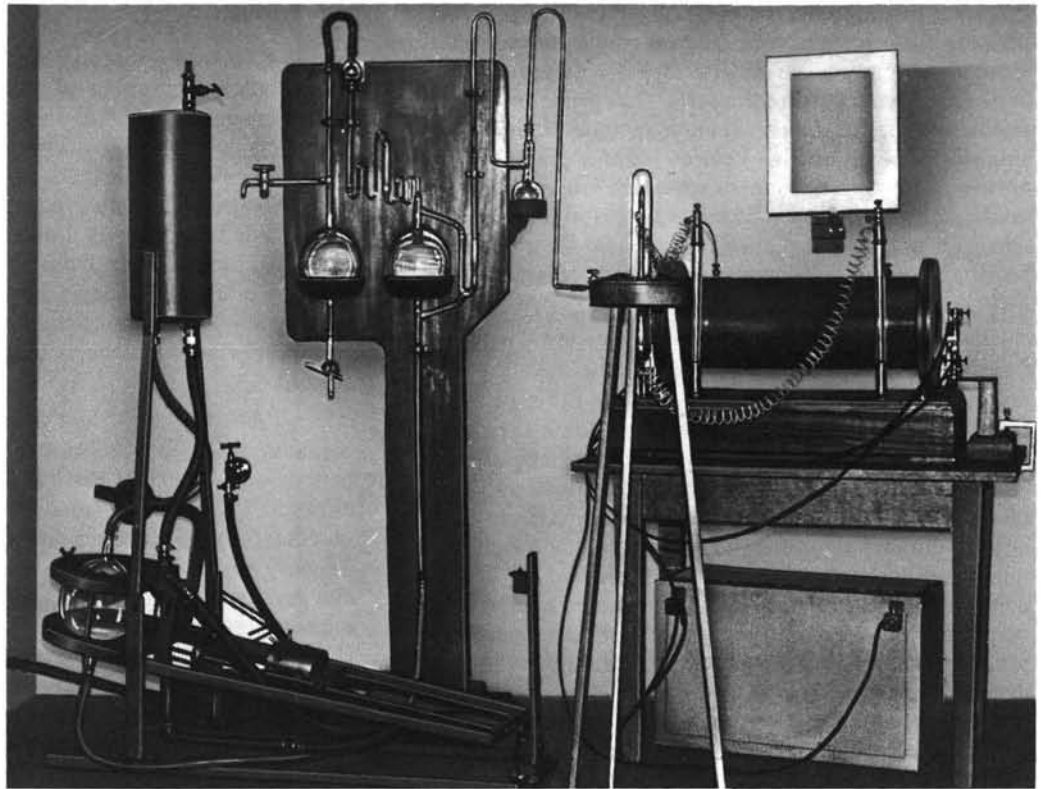
campo magnético se observó también en 1899. Unos años después, Rutherford logró ofrecer una explicación completa de la naturaleza de los rayos alfa, beta y gamma.

En los comienzos de la investigación sobre el radio se utilizó la placa fotográfica para estudiar los nuevos fenómenos. Sin embargo, la facilidad de manejo, el coste relativamente bajo y la alta sensibilidad del electroscopio de panes de oro pronto hicieron de él el instrumento de medición preferido para trabajar con sustancias radiactivas. Con este fin, se crearon diversos tipos de electroscopios: el electroscopio alfa, en el que la cámara de ionización y la de medición se hallaban en estrecha conexión; el electroscopio beta, cuya cámara de ionización y estaba combinada con la de medición; y el electroscopio de emanación, para medir gases radiactivos. El empleo de cámaras de ionización juntamente con galvanómetros quedó circunscrito a la medición de radiaciones intensas. Estos primeros métodos de detección, es decir, los basados en la pantalla fluorescente, la placa fotográfica, el electroscopio de panes de oro o la cámara de ionización combinada con un electroscopio o un galvanómetro, tenían una característica en común: solo tenían sensibilidad frente a la radiación "en masa", pero eran insensibles a los rayos por separado.

El primer instrumento capaz de detectar cada rayo por separado fue el espintariscopio, inventado por Crookes en 1903. Se había descubierto que la luminosidad de una pantalla de sulfuro de cinc, cuando ésta se exponía a las partículas alfa, consistía en un conjunto de distintos puntos de luz centelleantes que podían observarse con una lente de gran aumento. Rutherford y Geiger descubrieron que, en una pantalla uniforme, cada centelleo correspondía al impacto de una sola partícula alfa. Se disponía, así, de un método muy sencillo, que terminó por adquirir gran importancia práctica, para contar las partículas alfa de una en una. Rutherford y sus alumnos perfeccionaron y sacaron el máximo provecho de este método, que se utilizó ampliamente durante muchos años hasta los años treinta. Sin embargo, suponía considerable tensión y fatiga para los observadores: el procedimiento habitual era que cada observador contase durante un minuto y a continuación cediese su puesto a otro. Cada uno de los observadores podía llegar a contar hasta 20 períodos de un minuto en el curso de un solo experimento.

Otro instrumento que hacía visibles los fenómenos radiatorios de uno en uno era la cámara de niebla, construida por primera vez en 1911 por C.T.R. Wilson. Esta cámara suele constar de un vidrio frontal plano, para la observación y de paredes laterales de vidrio para la iluminación, con un pistón móvil en la parte trasera para aumentar el volumen de la cámara en una pequeña fracción de segundo. A lo largo del camino seguido por las partículas cargadas se van formando gotitas, y la traza resultante es visible y puede fotografiarse.

Entre 1923 y 1930, la cámara de niebla se fue perfeccionando hasta convertirse en un instrumento de investigación extremadamente útil, que tiene en su haber gran número de descubrimientos importantes. En 1939, A. Langsdorf construyó la primera cámara de niebla de difusión, de sensibilidad continua. Desde los años cincuenta las cámaras de burbujas, que permiten visualizar las trazas de las partículas en un medio líquido, vienen siendo objeto de amplio uso en los experimentos



Reconstrucción del dispositivo experimental con el que Röntgen descubrió los rayos X el 8 de noviembre de 1895. El tubo de descarga se halla sujeto al trípode, y la pantalla fluorescente aparece en el ángulo superior derecho. (Foto: Deutsches Röntgen-Museum)

de física de altas energías. En la década de 1960 se crearon las cámaras de traza luminosa.

Además de los efectos fotográficos, de ionización y de centelleo, muy pronto se observaron también otros efectos de las radiaciones. El hecho de que la radiación ionizante produce efectos biológicos se conocía desde los primeros días de trabajo con la misma. En abril de 1896, Daniel describió una reacción cutánea grave que tenía lugar después de una exposición prolongada a los rayos X. Otros investigadores en este terreno hicieron también observaciones análogas. Se conoce incluso el caso de una quemadura por rayos X que se produjo antes aún de descubrirse éstos. En el verano de 1895, experimentando con tubos de descarga catódica, E. Grubbé sufrió una extraña dermatitis en las manos que ni él ni su médico lograron explicarse. Murió de cáncer en 1960. Becquerel, en 1901, observó un enrojecimiento en su piel, bajo el chaleco, en cuyo bolsillo había guardado una sustancia radiactiva. P. Curie expuso deliberadamente una parte de su brazo a las radiaciones durante 10 horas, con lo que se causó una irritación y lesión cutánea semejante a la de una quemadura solar, y de la que tardó cuatro meses en curar. Danlos investigó en el hospital de Saint-Louis la posibilidad de aprovechar los efectos del radio en la piel para tratar algunas enfermedades de la misma. Ahora bien muchos de los pioneros en la investigación sobre radiaciones terminaron siendo mártires de su propio trabajo. En su memoria se erigió, en 1936, un monumento en Hamburgo con una lista de 178 nombres. En 1928, en el segundo Congreso Internacional de Radiología, se creó la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR), cuya denominación original fue Comité Internacional de Protección contra los rayos X y el radio. Desde entonces, este órgano ha ocupado

siempre un lugar destacado en el establecimiento de principios de seguridad radiológica.

Otro efecto fisiológico que se observó poco después del descubrimiento del radio fue la rápida disminución de los leucocitos en la sangre tras la inyección de líquidos radiactivos. Se supo también que los ciegos tenían una sensación de luminosidad cuando exponían sus ojos a una fuente de radio, debido a que los rayos gamma suscitan fluorescencia en el cristalino, el globo ocular y la retina.

Otros efectos de las radiaciones observados fueron la coloración de vidrios o minerales, el blanqueo de los colores y una ligera elevación de la temperatura en las muestras de radio muy activas. Estos efectos desempeñaban solo un papel secundario en los trabajos de detección y de medición durante las primeras investigaciones. Pero después se utilizaron mucho los efectos químicos para la dosimetría rápida en campos de radiación intensa, y el efecto térmico adquirió especial importancia para la medición de la radiación absoluta de los emisores alfa con microcalorímetros.

### Evolución de los detectores de radiaciones

Los efectos descubiertos en las primeras investigaciones con rayos X y sustancias radiactivas son aún hoy los principios básicos de la detección de radiaciones. Los instrumentos de detección han experimentado numerosos perfeccionamientos a lo largo de los años, y han sido muchos los investigadores que han contribuido a un desarrollo impresionante, del que solo podemos esbozar aquí las líneas maestras.

### Emulsiones fotográficas

Como ya se ha explicado, el empleo de placas fotográficas para registrar las radiaciones ionizantes se remonta

al descubrimiento de los rayos X y de la radiactividad. En años posteriores se consiguieron emulsiones fotográficas especiales, sobre todo para su utilización en radiografía por rayos X y en autorradiografía. Las primeras aplicaciones se basaban en el ennegrecimiento de la emulsión al ser irradiada. Pero en los años treinta se obtuvieron otras emulsiones especiales, las emulsiones nucleares, que permitían observar las distintas trazas nucleares por separado. Estas emulsiones se utilizaron profusamente en la investigación sobre los rayos cósmicos.

La dosimetría fotográfica solo adquirió carácter cuantitativo en 1942, año en que se crearon las películas dosimétricas para la vigilancia radiológica regular de los trabajadores. Con anterioridad, se había utilizado ocasionalmente película sensible para estimar la radioexposición del personal, pero los resultados habían sido, en el mejor de los casos, imprecisos: se revelaban placas radiográficas dentales que se habían llevado en el bolsillo durante algún tiempo, y un grado de opacidad que no permitiese leer un texto de periódico se consideraba indicativo de que había que estudiar medidas de protección. Las emulsiones fotográficas se emplearon también como medio auxiliar en el trabajo con cámaras de niebla, y especialmente en sistemas espectrográficos magnéticos para la espectrometría de partículas. En la actualidad, el uso de las emulsiones fotográficas se ha generalizado en medicina, industria e investigación.

### Centelleo

Una de las primeras técnicas de detección y recuento de las radiaciones ionizantes fue la basada en el centelleo que éstas originan en el sulfuro de cinc. En los años treinta esta técnica fue casi completamente desplazada por los métodos de recuento eléctricos. Pero renació en los años cuarenta: se introdujeron los tubos fotomultiplicadores electrónicos acoplados a centelleadores para transformar los débiles destellos luminosos en impulsos eléctricos útiles que podían contarse por medios electrónicos. El recuento visual pasó a la historia.

Para ser un buen centelleador un material debe transformar la mayor fracción posible de la energía de la radiación incidente en fluorescencia instantánea, el rendimiento luminoso debe ser proporcional a la energía depositada, la luminiscencia ha de tener corta duración y el material tiene que ser homogéneo y de buena calidad óptica. No existe un material que cumpla simultáneamente todos estos requisitos, y la elección de un centelleador concreto supone siempre un compromiso entre éstos y otros factores.

En 1947 y 1948 se descubrieron varios medios de centelleo de buena calidad. Los centelleadores orgánicos se introdujeron en 1947. En 1948 se descubrió el cristal de yoduro de sodio activado con talio, cuya producción comercial comenzó en 1950 y cuyo uso se generalizó ampliamente. Este fue prácticamente el primer medio sólido de detección empleado en espectrometría de rayos gamma y es aún hoy, para esta aplicación, el detector de centelleo más corrientemente usado. Los detectores de centelleador líquido se dieron a conocer en 1948, pero no se les prestó atención hasta los años sesenta. Aunque el cristal de  $\text{INa(Tl)}$  es técnicamente un detector sólido, se suele llamar detectores de estado sólido únicamente a los dispositivos basados en semiconductores.

### Ionización

Son diversos los materiales que pueden ionizarse, aunque, para tener aplicación en un detector, las cargas originadas por la radiación han de desplazarse bajo la influencia de un campo eléctrico. Los gases cumplen esta condición sin dificultad, por lo que los detectores de ionización de la primera generación contenían gas. El detector de tipo más sencillo es la cámara de ionización, que constituía ya un instrumento esencial en los primeros estudios sobre rayos X. En 1910, valiéndose de una cámara de ionización durante un viaje en globo, Hess aportó la primera prueba de la existencia de los rayos cósmicos.

En 1908, Rutherford y Geiger describieron el primer contador eléctrico cilíndrico de partículas alfa, que perfeccionaron en 1912 con la creación del contador esférico. Un nuevo adelanto fue la creación, en 1913, de un detector para recuento de partículas beta. En 1928, Geiger y Müller introdujeron un nuevo tipo de contador con gas que respondía a cada fenómeno inducido por radiaciones emitiendo una señal de alta intensidad. Era el contador Geiger-Müller o contador GM. Este aparato se perfeccionó posteriormente en los años treinta y, por su simplicidad, facilidad de manejo y bajo precio encontró rápidamente amplia aplicación. Sin embargo, el contador GM no podría medir directamente la energía de la radiación y quedaba limitado a tasas de recuento relativamente bajas. Con todo, es aún a menudo la mejor solución cuando lo que se necesita es un método de recuento sencillo y económico.

El desarrollo de los detectores con gas cobró un nuevo impulso en los años cuarenta. En 1940 Frish inventó la cámara de ionización de rejilla, que aún tiene cierta aplicación en espectrometría alfa. A finales de la década de 1940 apareció un tercer tipo de detector con gas, el contador proporcional, que amplificaba la carga generada en el gas. Una importante aplicación de los contadores proporcionales fue la espectrometría de rayos X de baja energía. En la actualidad, los contadores proporcionales tienen aún amplia aplicación en numerosos laboratorios para la medición de radiaciones alfa o beta. Aunque los detectores con gas se usan aún corrientemente en los laboratorios nucleares, los detectores clásicos de ionización de gas han desaparecido prácticamente en los trabajos de alta precisión.

Pronto se vio que el empleo de un medio detector sólido en lugar de un gas sería muy ventajoso para la detección de radiaciones, ya que los sólidos son unas mil veces más densos que los gases y los detectores sólidos podían por tanto ser de dimensiones mucho menores que sus homólogos rellenos de gas. Ya en 1932, Jaffe, y en 1945 Van Heerden dieron a conocer ciertos trabajos sobre contadores con cristal. Sin embargo, los detectores de radiaciones que miden la ionización producida en dieléctricos sólidos, y que constituyen el equivalente en estado sólido de las cámaras gaseosas, no aparecieron hasta finales de los años cincuenta y comienzos de sesenta. Estos detectores semiconductores experimentaron un rápido desarrollo. Los detectores de unión difusa y de barrera superficial encontraron muy diversas aplicaciones en la detección de partículas alfa. El fenómeno de deriva iónica, que demostró por primera vez Pell en 1960, brindó una posibilidad práctica de construir detectores

semiconductores con mayores volúmenes activos. El empleo de estos "detectores con deriva iónica" se generalizó rápidamente en todas las ramas de la ciencia nuclear.

En la actualidad, prevalece el empleo del silicio como material semiconductor en los detectores diódicos utilizados en espectrometría de partículas cargadas, en tanto que el germanio se aplica más a los detectores con deriva iónica para la medición de rayos gamma. Los detectores de silicio han terminado por ser los más empleados en espectroscopia de rayos X de baja energía y en espectroscopia de partículas beta. La característica más destacada de los detectores de germanio es su excelente poder de resolución de la energía en espectroscopia de rayos gamma, y en este campo han desplazado prácticamente ya a todos los demás sistemas. La producción de detectores de Ge(Li) precisa de una técnica muy perfecta. Sin embargo, apenas aparecieron en el mercado su uso se propagó como la pólvora.

Una limitación práctica de los detectores de Ge(Li) es que su almacenamiento y funcionamiento han de tener lugar a temperaturas muy bajas. En los años 1970-1972 se consiguió producir germanio de extremada pureza, lo que permitió fabricar detectores de germanio sin compensación por litio, los llamados detectores de germanio intrínseco. Estos pueden conservarse a la temperatura ambiente. Se calcula que existen actualmente unos 1000 detectores de germanio intrínseco en uso en todo el mundo.

Chadwick descubrió el neutrón en 1932. En poco tiempo pudo disponerse de fuentes neutrónicas bastante aceptables, pero la detección y medición de estas partículas planteaba dificultades mucho más graves que en el caso de las demás radiaciones. Las primeras investigaciones se centraron casi exclusivamente en los detectores de ionización secundaria, en que los productos cargados resultantes de las reacciones inducidas por los neutrones, o bien los productos de retroceso cargados, se detectaban mediante contadores adecuados de ionización o del tipo proporcional. No fue sino algunos años más tarde, después de 1942, cuando al disponerse de fuentes neutrónicas de gran intensidad en forma de reactores de fisión, se crearon detectores de neutrones más perfeccionados.

En casi todos los casos, un detector de neutrones se compone de un material, el blanco, cuya función es convertir los neutrones en partículas energéticas cargadas, y de un detector de radiaciones de tipo corriente. Dado que la física neutrónica abarca un intervalo de energía muy amplio, de unas catorce décadas (de  $10^{-6}$  a  $10^8$  eV), se han puesto a punto técnicas bastante distintas para la detección de neutrones en las diferentes regiones energéticas, que corresponden a lo que habitualmente se denomina neutrones lentos, intermedios y rápidos.

Las reacciones más frecuentes para la conversión de neutrones lentos en partículas cargadas susceptibles de detección son las reacciones  $(n,\alpha)$  con boro-10 y litio-6, y la reacción  $(n,p)$  con helio-3. Un detector de neutrones lentos muy empleado es el tubo proporcional lleno de gas trifluoruro de boro.

Varios detectores de neutrones rápidos consistían básicamente en un detector de neutrones lentos situado



Fotografía obtenida con rayos X por Röntgen el 22 de diciembre de 1895, que muestra la mano de su esposa. (Foto: Deutsches Röntgen-Museum)

en el centro de un medio moderador. Un detector muy conocido, un contador alargado consistente en un tubo de  $F_3B$  rodeado de un moderador cilíndrico y que de una curva de "respuesta aplanada" fue ideado por Hanson y McKibben en 1947. La invención, hacia 1950, de los contadores de centelleador orgánico para detección de neutrones ensanchó los dominios de la física de los neutrones rápidos. La aparición de los centelleadores inorgánicos (centelleadores de vidrio con  $^6Li$ ) fue importante para los adelantos en física de los neutrones de baja energía desde comienzos de los años sesenta. El mayor grado de precisión en la detección de neutrones lentos se alcanzó, sin embargo, con los sistemas de "tiempo de vuelo".

En 1960, Bramblett, Ewing y Bonner crearon un "dosímetro esférico" cuya probabilidad de detección de neutrones se adaptaba bien a la dosis causada por los neutrones en un medio biológico, y que hoy lleva el nombre de "esfera de Bonner". La realización de detectores pequeños para controlar la exposición a los neutrones, especialmente en la región de las energías intermedias, requiere todavía atención especial.

Muchos otros detectores que no se han citado aquí desempeñan hoy en día un papel importante en la detección de radiaciones: en ciertos materiales, y sobre todo en láminas de plástico, la traza que forman las moléculas dañadas a lo largo de la trayectoria de una partícula puede hacerse visible aumentando el daño por ataque con agentes químicos. Los materiales empleados para detectar así las partículas cargadas se denominan

*detectores con revelado por ataque químico.* Existen métodos de lectura especiales para el recuento de estas trazas, y esta forma de detección de trazas ha encontrado útil aplicación en la detección de iones pesados y productos de fisión.

La radiactividad inducida por interacción neutrónica en un gran número de materiales puede utilizarse para la medición de neutrones. La medición de las radiaciones emitidas por estos materiales puede utilizarse para inferir información acerca de los neutrones incidentes. Estos detectores se denominan *detectores por activación*. Se dan aquí complicadas limitaciones físicas, pero de todos modos los detectores por activación han encontrado aplicaciones limitadas en la medición de la radiación neutrónica.

Los centelleadores inorgánicos emiten luz en forma de fluorescencia instantánea cuando se exponen a las radiaciones. Ahora bien, existe otra clase de cristales inorgánicos capaces de "capturar y almacenar" las excitaciones originadas por la irradiación, y esta excitación puede liberarse en forma de emisión luminosa a temperatura elevada. Los materiales que poseen estas propiedades funcionan como detectores integradores. Los detectores basados en este principio se denominan *dosímetros termoluminiscentes*. El fenómeno de la termoluminiscencia fue descrito por primera vez por Boyle en 1663, y posteriormente por Wick en 1927-1928. Pero los estudios de L.F. Heckelsberg, que hicieron posible la creación del dosímetro termoluminiscente (DTL) no empezaron sino en 1948. La relación observada entre la dosis de radiación y la magnitud de la termoluminiscencia llevó a Daniels a proponer el empleo de cristales de haluros alcalinos para la dosimetría de radiaciones. En 1966 se comenzaron a emplear en gran escala por primera vez diminutas piezas de FLi como dosímetros individuales. Estos pequeños DTL en forma de lasca van sustituyendo poco a poco a las películas dosimétricas en dosimetría individual, especialmente en los países tropicales.

Otro detector, basado en un principio distinto y que merece especial mención, es el *detector de Cerenkov*. La luz emitida por las partículas rápidas cargadas que atraviesan un medio transparente fue observada por primera vez por Cerenkov en 1937, y recibió su nombre. El empleo de detectores basados en la sensibilidad a la radiación de Cerenkov se halla muy extendido en los experimentos de física de altas energías.

### Equipamiento de los detectores

Los detectores de radiaciones no habrían podido alcanzar su actual desarrollo de no haber sido por otro logro importante que tuvo lugar de forma paralela: la creación de equipo para recibir las señales del detector, tratarlas y transformarlas en impulsos de salida útiles. Cabe recordar algunos hitos importantes en este camino: en 1931, Williams, prosiguiendo las investigaciones efectuadas por Greinacher en 1926, creó el primer amplificador lineal capaz de aumentar el impulso producido por una sola partícula alfa a su paso por una cámara de ionización de pequeña separación entre placas. En 1940 se puso a punto el fotomultiplicador. A principios de los años cincuenta se disponía ya de una gran diversidad de amplificadores de válvulas. Su funciona-

miento se fue mejorando poco a poco, por ejemplo con la introducción en 1956 de los circuitos de realimentación.

Entre finales de los años cincuenta y comienzos de los sesenta, los circuitos de válvulas se fueron sustituyendo por los de transistores: éstos presentaban la ventaja de su menor consumo de energía, su menor tamaño (circuitos integrados) y su fiabilidad. Ello condujo rápidamente a la fabricación de muchos detectores portátiles de radiaciones, de gran eficacia. Se perfeccionaron los instrumentos para poder hacer frente a tasas de cuenta cada vez mayores. En los años sesenta se aplicó a los detectores la tecnología de las computadoras. Las muchas ventajas que aportarán a los instrumentos de radiomedición los microprocesadores (unidades centrales de proceso en lascas de circuitos integrados) pueden hoy en día tan solo imaginarse.

### Panorámica general

En un intervalo de menos de un siglo, los detectores de radiaciones nucleares han ido extendiendo paulatinamente los sentidos del hombre a regiones enteramente nuevas; virtualmente, han dado al ser humano un sexto sentido. Se dispone actualmente de una gran diversidad de instrumentos fiables para la detección y medición de las radiaciones ionizantes, que van desde aquellos que se usan a diario y con gran profusión en los laboratorios nucleares hasta los complejos sistemas extremadamente perfeccionados y concebidos para aplicaciones muy especiales. Los detectores no solamente han permitido investigar la naturaleza de las radiaciones nucleares y de sus emisores sino que han servido para la aplicación beneficiosa de las radiaciones en medicina, industria e investigación, así como para la prevención de los riesgos que pudieran entrañar las radiaciones ionizantes.

Ahora bien, el rápido desarrollo de los instrumentos de medida y su amplia difusión han acarreado nuevos problemas: se ven muchos casos en que se utilizan instrumentos de gran complejidad allí donde un aparato más sencillo hubiera sido suficiente, por ejemplo, analizadores multicanales en situaciones en que un analizador monocanal habría bastado.

Los instrumentos de radiomedición han dado al hombre la facultad de determinar las características ambientales con niveles de precisión que hace tan solo unos pocos años se habrían juzgado imposibles. Con respecto a muchos elementos, la sensibilidad alcanzada es del orden de partes por billón, concentraciones éstas muchísimo menores que las que antes habían sido accesibles a las mediciones.

### Bibliografía

- The science of ionizing radiation*; publicación compilada y revisada por L.E. Etter; Charles C. Thomas, Springfield, Illinois, (E.E.U.U.) (1965).
- Detectors in nuclear science* Ed. D.A. Bromley Nuclear Instruments and Methods, Vol. 162 N<sup>o</sup> 1-3, Partes I y II (1979).
- Radiation detection and measurement* G.F. Knoll John Wiley & Sons, Nueva York (1979).
- Wilhelm Conrad Röntgen 1845-1923* 1973 Inter Nations, Bonn-Bad Godesberg, H. Moos Verlag, Munich.
- Radiation Protection Standards* L.S. Taylor Butterworths, Londres (1971).
- Historical note - thermoluminescent dosimetry (LiF) 1950-1951* L.F. Heckelsberg Health Physics Vol.39, págs. 391-393 (1980).