

SEGURIDAD EN LA RADIOLOGIA INDUSTRIAL

GABRIEL DELOJO MORCILLO
Jefe del Laboratorio de Ensayos no
Destructivos
INTA (Instituto Nacional de Técnicas
Aerospaciales)



De la crónica local de una importante ciudad industrial del Noroeste tomamos, a modo de introducción, un suceso de hace unos años:

“

XX, fontanero de profesión, encuentra entre unos hierros un pequeño cilindro metálico con una especie de «rabo» flexible. No tiene ni idea de qué es, pero, quién sabe, a veces cualquier cosa puede servir para cualquier cosa. En previsión de tan eventual empleo, lo guarda en el bolsillo de su pantalón. Ya habrá tiempo de dejarlo en esa especie de buhardilla portátil que suele ser la caja de herramientas de los de su oficio.

Pasan unos días. Nuestro hombre hace una vida normal. A veces se siente molesto. Le ha salido una especie de rozadura o eczema en la parte alta del muslo. En «semejante sitio», dice. Justo bajo el forro del bolsillo donde guarda, todavía, el curioso cilindro metálico.

Va al médico. Aquello no tiene buen aspecto. Tiene toda la pinta de una de esas quemaduras que producen los rayos X. Una radiodermatitis, le diagnostican. ¿Pero de qué?

Se indaga y se acaba relacionando el cilindro con rabo y la lesión. En efecto, aquél resulta ser una fuente radiactiva temerariamente abandonada, una vez decaída su actividad, por debajo del límite de su utilidad industrial, pero aún altamente peligrosa.

“

TODAVIA hoy, la historia está lejos de su fin. Una interminable serie de amputaciones e injertos han ido talando, poco a poco, el cuerpo de esta desgraciada víctima de la imprudencia ajena, en una cadena de operaciones cuyo final nadie se atreve a predecir.

MAGNITUD DEL PROBLEMA

En España, la inmensa mayoría de los accidentes graves con daños personales irreparables, ocasionados por radiaciones, no lo han sido por las traídas y llevadas centrales nucleares, sino por las fuentes radiactivas, apa-

rentemente «mansas», utilizadas en otros menesteres. Dejando de lado los daños producidos, a lo largo del tiempo, por la fuentes de radiación usadas por los médicos, y de la que éstos han sido, frecuentemente, sus primeras e ilustres víctimas, la afirmación sigue siendo perfectamente válida

para las fuentes de uso industrial. El ejemplo que ha servido de introducción al tema que nos ocupa no es, por desgracia, único ni, quizá, el más grave de los que conocemos de primera mano.

Se trata, pues, de un asunto serio. De un problema de seguridad poco conocido por la gente, que, cuando sale a la luz, lo hace de forma parcial y confusa. Y, sin embargo, no es algo distante que sólo les ocurre a otros. Ciñéndonos a las fuentes gammarradiantes empleadas con fines radiográficos en control de calidad, son muchos los trabajadores que están expuestos a su acción, nunca beneficiosa, cuando cerca de ellos se realizan inspecciones de, por ejemplo, obra soldada. A veces, hasta el público en general puede, sin saberlo, quedar expuesto a dosis, generalmente inocuas por lo esporádicas, pero innecesarias, de radiación. Así, las mayores exigencias en el control de calidad han llevado a la realización de radiografías en redes de distribución de gases combustibles en mitad de calles concurridas. Es posible que en tales trabajos se tomasen todas las precauciones necesarias para llevarlos a cabo, puesto que son trabajos en principio realizables. Pero cabe temer que razones presupuestarias no permitieran sino un simulacro de esas precauciones. En cualquier caso, hay constancia de que las autoridades municipales competentes no tuvieron la menor noticia de lo que se estaba haciendo.

APLICACIONES DE LAS FUENTES RADIATIVAS

Que las fuentes de radiación «ionizantes» o «penetrantes» productoras de rayos X o gamma son útiles y peligrosas a la vez, es algo a lo que se llegó poco a poco. Por desgracia se conoció antes su utilidad que su daño, y éste hubo de manifestarse repetidamente hasta que la evidencia hizo necesaria la regulación de su uso.

En la actualidad, en todos los países, incluido el nuestro, existe una legislación más o menos afortunada, más o menos cumplida, que, teóricamente, reglamenta la utilización de fuentes radiactivas. Pero antes de presentar una visión de conjunto del panorama legal vigente es imprescindible levantar un mapa, siquiera sea esquemático, de los tipos y usos de fuentes radiactivas.

En España, los accidentes graves con daños personales irreparables, ocasionados por radiaciones, no lo han sido por las traídas y llevadas centrales nucleares, sino por las fuentes radiactivas, aparentemente «mansas» utilizadas en otros menesteres.

En primer lugar, hay las de uso médico, que se agrupan en dos grandes conjuntos: las de radiodiagnóstico, pendientes de regulación desde hace años, y las de terapia, que entran en el campo de aplicación del vigente Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas. No nos ocuparemos aquí ni de unas ni de otras.

Después, están las de uso industrial, que abarcan muy diversas aplicaciones. Una panorámica de éstas se muestra en el Cuadro I. De su examen se deduce que las fuentes de uso industrial pueden reducirse a tres tipos:

- a) Fuentes electrónicas.
- b) Fuentes isotópicas encapsuladas.
- c) Fuentes isotópicas no encapsuladas.

Las primeras consisten, básicamente, en equipos generadores de rayos X más o menos convencionales.

Las segundas son, en su mayor parte (aunque no exclusivamente), fuentes de rayos gamma.

Finalmente, las no encapsuladas comprenden todas aquellas que se utilizan como aditivos en procesos para seguir la pista de reacciones químicas complicadas (trazadores), para medida de caudales de fluidos, etc.

Dentro de las fuentes de uso industrial cabe incluir las de aplicación policial (por ejemplo, los equipos de radioscopia, tan corrientes hoy en cualquier aeropuerto) y las de uso en Arqueología y conservación de obras de arte, ya que no presentan en su diseño básico, ni en la filosofía de su

uso, diferencias esenciales respecto a las industrias propiamente dichas antes enumeradas.

EQUIPOS DE RADIOLOGIA INDUSTRIAL

Tal como se acaba de indicar, hay dos grandes familias:

- Los equipos de rayos X.
- Los equipos de rayos gamma.

A los primeros hemos llamado «fuentes electrónicas», y a los segundos, «isotópicas».

Conviene en este punto decir algo sobre las características de cada cual.

Rayos X

Los equipos de rayos X consisten en un tubo electrónico de alta tensión, en el que son acelerados haces de electrones a velocidades próximas a la de la luz y luego son frenados, lo más bruscamente posible, por choque contra un blanco, generalmente de volframio. La energía cinética de los electrones se transforma en luz, calor y una cierta cantidad de rayos X (aproximadamente, 1,8 por 100), que es la que se aprovecha.

Sobre este esquema básico se han instrumentado soluciones muy diversas en sus prestaciones y en su aspecto exterior. De un lado hay los poderosos aceleradores lineales y betatrones de varios millones de voltios, capaces de atravesar eficazmente espesores de muchos centímetros de acero, y, por otro, los delicados instrumentos utilizados en microrradiografía industrial. En realidad, los que se utilizan con mayor profusión son equipos de características medias que trabajan con tensiones entre 50 y 400 kV, y permiten resolver problemas de inspección en acero con espesores de hasta unos 8 ó 10 cm.

Todos estos aparatos están sujetos a servidumbres de suministro de corriente eléctrica y de refrigeración que los hacen relativamente engorrosos, aunque se trate de equipos de diseño «portátil». Hay, sin embargo, que tener en cuenta dos puntos importantes:

- Son más seguros que las fuentes isotópicas.
- Proporcionan resultados francamente mejores que éstas.

CUADRO I									
APLICACIONES DE LAS FUENTES DE RADIACION									
	Radioterapia	Radiodiagnóstico	Esterilización	Irradiación	Trazadores	Medidores de flujos	Metrología	Análisis	Datación
Medicina y Biología	•	•	•	•	•				
Industria		•		•	•	•	•	•	
Alimentación			•	•					
Arqueología		•	•					•	•
Química				•	•	•		•	
Policía		•						•	•

Rayos gamma o fuentes isotópicas

Consisten, en realidad, en un pequeño fragmento de material radiactivo, en general no mayor que un pequeño guisante. Los átomos inestables de este material, al alcanzar su estado estable, emiten, entre otras cosas que no tienen provecho radiográfico, rayos gamma similares, en naturaleza a los rayos X, pero con longitudes de onda muy concretas. El principal problema, del que derivan casi todos los demás que presentan estas fuentes, consiste en la imposibilidad física de variar el proceso de emisión de la radiación; esto obliga a protegerse de ésta del único modo posible: encerrando la fuente en una sólida cápsula («pastilla») que evite su dispersión y guardándola, cuando no se usa, en un pesado cofre («contenedor») de gruesas paredes de plomo o uranio.

El manejo de la fuente se reduce a sacarla del contenedor para ponerla en exposición, y luego de terminada ésta, volverla a guardar allí. La experiencia ha demostrado que el sistema más seguro para estas manipulaciones es el funicular, mediante un recio cable al que se engancha la fuente con un mosquetón de seguridad. La fuente se desplaza con el cable por el interior de unos tubos flexibles («mangueras»), mediante una polea solidaria a una manivela. A este conjunto, polea-manivela, es al que los del oficio se refieren con indudable hipérbolo,

cuando hablan del «telemando» del equipo.

NORMATIVA

Aunque nuestro propósito sea limitarnos, por razones de espacio, al tema de las fuentes isotópicas o electrónicas de uso en Radiología Industrial, es importante tener una visión de conjunto del tema, ya que la legislación española no hace distinciones esenciales entre unas y otras.

La capa más profunda del suelo legal la forma la Ley de Energía Nuclear del año 1964 («B. O. E.» núm. 107, de 4 de mayo). En ésta se definen sus objetivos como respuesta a las necesidades creadas en la sociedad por el empleo de dicha energía, a saber:

- Fomentar el desarrollo de las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear.
- Proteger vidas y bienes contra los peligros derivados de la misma y de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes.
- Regular las relaciones internacionales en esta materia.

De esta cita, no literal, del artículo 1.º de la Ley, cabe señalar que el apartado b) distingue a la energía nuclear de las radiaciones ionizantes, aunque acoge a ambas para su regulación.

No encontramos norma de rango equivalente hasta diciembre de 1980, momento en que se promulga la Ley

de Creación del Consejo de Seguridad Nuclear, organismo destinado, entre otras cosas, a absorber las labores de inspección y fiscalización de las instalaciones nucleares y radiactivas, realizadas hasta entonces por la Junta de Energía Nuclear.

La Ley de Energía Nuclear prometía desarrollar, a través de los Reglamentos oportunos, la totalidad de sus competencias. De estos Reglamentos, hasta ahora se han publicado los siguientes:

- Reglamento de Cobertura del Riesgo de Daños Nucleares.
- Reglamento de Instalaciones Nucleares y Radiactivas.
- Reglamentos de Transporte de Mercancías Peligrosas por Carreteras o Ferrocarril.

Estos últimos tienen un carácter más amplio que el estrictamente nuclear, pero regulan de forma precisa lo que debe hacerse para transportar materiales radiactivos. Además, existe un cierto número de disposiciones complementarias que se refieren a aspectos tales como los sanitarios, laborales o de aplicaciones específicas industriales.

De todo este conjunto resulta que las instalaciones en que se produce energía o se emplean radiaciones de origen nuclear se dividen en dos grandes grupos:

- Instalaciones nucleares.
- Instalaciones radiactivas.

Las primeras son casi exclusivamente, por hoy, las centrales nucleares de fisión. Las segundas se subdividen en tres categorías, de las que la segunda y tercera abarcan la inmensa mayoría de las aplicaciones industriales de las fuentes radiactivas.

Centrándonos en las dedicadas a Radiología Industrial, su clasificación es como sigue:

- Equipos de rayos X con tensiones pico inferiores (o iguales) a 200 kV: tercera categoría.
- Equipos de rayos X en su más amplia aceptación, con tensiones pico de más de 200 kV y todas las fuentes isotópicas: segunda categoría.

En conjunto, puede decirse que la cobertura legal es aceptable, aunque en su espíritu la normativa parece contemplar a las instalaciones radiactivas con óptica más bien nuclear, lo que da lugar a un cierto irrealismo en su aplicación cotidiana.

UNIDADES

En este artículo sólo se desea presentar una panorámica del riesgo inherente al empleo de fuentes radiactivas en Radiología Industrial. Entrar en el detalle de dar razón de los sistemas de medida de la radiación y de las unidades empleadas sería separarnos del propósito expresado. Sin embargo, la comprensión de lo que sigue exige algunas puntualizaciones.

Cuando un objeto (entendiéndolo por tal, incluso, un ser vivo) recibe un haz de radiación se dice que está siendo «irradiado». La irradiación se mide en Röntgen (R). Un Röntgen representa la cantidad de radiación necesaria para ionizar 1 cm³ de aire hasta producir una unidad de carga eléctrica positiva y otra negativa. Esta definición puede parecer un tanto rebuscada y, desde luego, al profano le deja más bien a oscuras sobre el «tamaño» del Röntgen. Sin embargo, hay razones de peso para su adopción que no podemos entrar ahora a discutir. Como orientación puede tenerse en cuenta que 100 R recibidos en poco tiempo producen trastornos considerables, observables al cabo de unos días. La permanencia de un objeto bajo una irradiación R, durante un tiempo t, nos lleva a dos nuevos conceptos: al de *exposición*, expresable mediante el producto $R \times t$, en Röntgen por (x) hora, minuto, segundo, etc. Y el de *dosis*, como energía transferida por la radiación a la masa de 1 cm³ de la materia irradiada. En el caso de que ésta fuera el aire, 1 R cede a 1 cm³ de éste, 87 ergios. Finalmente, el daño biológico producido por una misma dosis, según en qué seres vivos, obliga a establecer un nuevo patrón, el «mamífero medio», y referir el daño producido por una cierta dosis a los efectos en éste. En general, se admite que el ser humano y el teórico «mamífero medio» son afectados de forma similar.

Las unidades con que se miden la dosis absorbida y la dosis equivalente en el hombre son, respectivamente, el «rad» y el «rem», y el factor para pasar de una a otra se llama factor de eficacia biológica relativa. Este factor es 1 para los rayos X y gamma, por lo que no se comete error, sino de concepto, si se confunden los *rem* con los *rad*. Finalmente, el cociente *dosis/tiempo* recibe el nombre de «dosis acumulada» y se expresa en *rem/año*, *rem/hora* o cualquier otra relación respecto

CUADRO II SINTOMATOLOGÍA APARECIDA SEGUN DOSIS RECIBIDA POR IRRADIACION TOTAL DEL ORGANISMO			
Tiempo después de la irradiación	DOSIS		
	600 rads o más dosis mortal	400 rads dosis media	300-100 rads dosis moderada
Primera semana	Náuseas y vómitos después de una a dos horas después de la irradiación.	Náuseas y vómitos después de 1 a 2 horas después de la irradiación.	
Segunda semana	No síntomas netos.		
	Diarreas, vómitos. Inflamación de la boca y de la garganta. Fiebre, emaciación y muerte en el cien por cien de los casos.	No síntomas claros.	
Tercera semana		Comienzo de depilación. Pérdida del apetito. Malestar general. Fiebre. Inflamación severa de la boca y garganta. Petequias, diarreas sanguinolentas. Epixtasis.	
Cuarta semana			Depilación. Pérdida del apetito. Malestar. Garganta dolorosa. Palidez, petequias. Diarrea.
Quinta semana		Emaciación rápida. Muerte en el 50 por 100 de los casos.	Emaciación moderada. Sobreviven al cien por cien, a menos de que tengan mal estado de salud en el momento de la irradiación, o por heridas, fracturas o infecciones.

al tiempo. Muy recientemente se ha recomendado la sustitución del rad por el Gray (Gy) y del rem por el Sievert (Sv), que son, respectivamente, cien veces mayores que las antiguas.

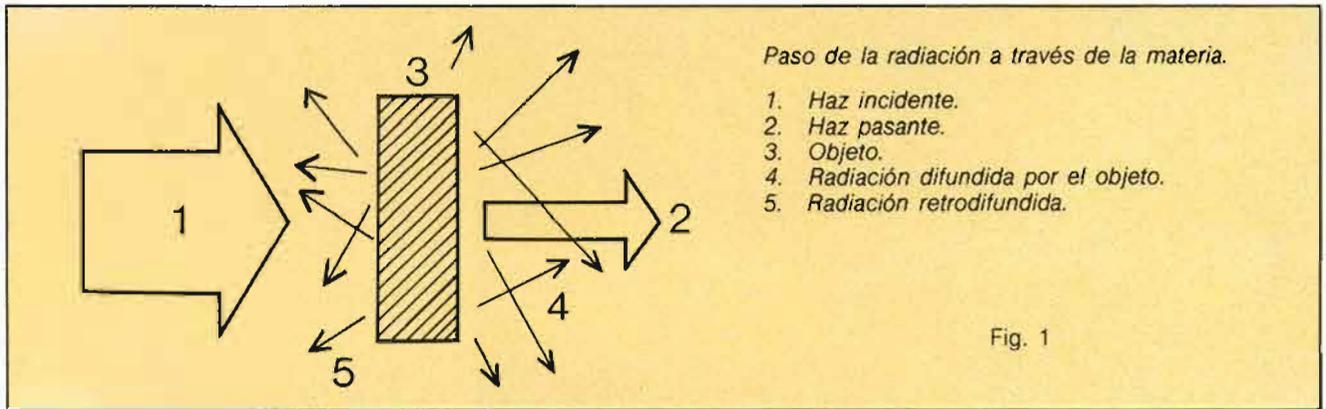
Finalmente, debemos definir otro concepto en relación con las fuentes radiactivas isotópicas: la *actividad*. Como es sabido, la radiación es emitida por estas fuentes cuando sus núcleos inestables alcanzan la estabilidad, convirtiéndose en otros diferentes. Pues bien, se considera unidad de actividad a la desintegración de un átomo por segundo. Esta unidad recibe el nombre de Becquerel (Bq) y ha venido a sustituir a otra más antigua, el Curie (Ci), 37.000 millones de veces mayor. No obstante, por razones prácticas, en gammagrafía se utilizará el Curie, probablemente siempre, ya que las actividades corrientes empleadas son demasiado altas para ser expresadas en Bq.

EL DAÑO RADIATIVO

En torno a este tema hay varios equívocos que convendrá ir deshaciendo.

En primer lugar, debe quedar claro que en Radiología Industrial sólo se emplean radiaciones electromagnéticas, similares a la luz, pero con longitudes de onda mucho más pequeñas. Si son producidos acelerando o decelerando cargas eléctricas en aparatos adecuados (equipos de rayos X, aceleradores lineales, betatrones, etc.), el resultado serán haces de rayos X. Si, en cambio, se originan a causa de reajustes internos ocurridos en ciertos núcleos atómicos inestables, el resultado serán rayos gamma. Así, aparte otras diferencias secundarias, los rayos X y los rayos gamma se diferencian, ante todo, por su origen.

En segundo lugar, hay que desterrar la brujería de que los objetos radiogra-



fiados o los ambientes en que ha habido radiaciones se vuelven, a su vez, radiactivos. Igual que al apagar la luz de una habitación los muebles y las paredes no permanecen luminosos, al cesar la acción de una fuente radiactiva, los objetos y el aire vecinos dejan de difundir radiación, desapareciendo todo riesgo.

Este equívoco nace de confundir *irradiación* con *contaminación radiactiva*. La primera equivale a «iluminación con radiación», en este caso de la llamada ionizante o penetrante, mientras que la segunda implica, como su nombre indica, la adherencia de diminutas partículas radiactivas a las superficies contaminadas. Los objetos contaminados pueden, a su vez, contaminar a otros o a la piel (contaminación externa), pueden ser ingeridos o inhalados (contaminación interna), con el riesgo adicional de incorporación al metabolismo de la persona contaminada. Obviamente, la contaminación es persistente y sólo puede eliminarse mediante sistemas drásticos de limpieza o por la acción del tiempo. O dicho de otro modo, la contaminación es persistente y la irradiación no.

Como es lógico, los generadores de rayos X son intrínsecamente incapaces de producir contaminación; en cuanto a las fuentes isotópicas de uso en gammagrafía, van sólidamente encapsuladas en receptáculos totalmente estancos y su posibilidad de exclaustación debe considerarse, en general, remota.

Nos ocuparemos, pues, exclusivamente, del daño producido por irradiación.

Cuando un haz de radiación X o gamma incide en la materia, en parte es absorbido, en parte es transmitido (fig. 1) y en parte es difundido.

Cuanto más penetrante es la radiación, tanto mayor es la proporción transmitida frente a las fracciones ab-

sorbida y difundida. Como es lógico, la radiación transmitida ha atravesado el material sin interacciones con el mismo. Así, en el caso de seres vivos, esta parte de la radiación no puede producir daño alguno, con lo que se llega a la situación paradójica de que, cuanto más penetrante es una radiación, menos daño produce, proporcionalmente. Veamos ahora los efectos de la radiación absorbida o difundida.

En ambos casos hay una transferencia muy localizada de energía que, cuando ocurre en la materia viva, da lugar *siempre* a un daño a nivel celular. Este daño no se manifiesta inmediatamente; ha de transcurrir cierto tiempo hasta que se hace aparente. Luego, la célula se recupera o degenera y muere.

El mecanismo de lesión ha sido objeto de diversas explicaciones que, probablemente, tienen, todas, una gran parte de verdad. Una teoría completa del daño celular es, pues, por hoy, de difícil presentación si se pretende que ésta sea sencilla. Sin entrar en detalles, puede decirse que la absorción de la radiación da lugar a la formación de lo que los químicos llaman «radicales libres», esto es, átomos o grupos de átomos formados a partir de los «escombros» de las moléculas rotas por radiación. Dada la proporción del agua en el material biológico, los radicales libres más activos suelen ser

grupos OH o átomos de H. En cualquier caso, se trata de productos altamente reactivos que actúan energicamente sobre las complejas moléculas orgánicas responsables del buen funcionamiento de las células. Estos procesos transcurren con gran celeridad: la transferencia de energía de la radiación a la materia apenas dura una billonésima de segundo, siendo un millón de veces más lenta la formación de los radicales libres. De todas maneras, una millonésima de segundo es aún un tiempo muy corto a escala humana. El ataque desencadenado por los radicales sobre las moléculas orgánicas (lesión primaria) y las reacciones subsiguientes pueden durar mucho más, según sea su complejidad e importancia. En cualquier caso, aún no es posible apreciar ningún daño (lesión observable) en las estructuras irradiadas. Para que esto ocurra ha de transcurrir un tiempo variable entre minutos y varios años, que es lo que se suele llamar período de «sombra» o de «latencia» de la lesión.

Es muy importante insistir en que *cualquier dosis de radiación produce daño*, si bien, cuando aquella es pequeña, éste puede pasar inadvertido, sin salir del período de sombra. Asimismo, la magnitud del daño primario es independiente de la dosis, si bien, como es lógico, habrá más elementos biológicos dañados cuanto más alta sea ésta. En realidad, la importancia local del daño depende, sobre todo, de la energía de la radiación y no de su intensidad.

SINTOMATOLOGÍA

Los síntomas son variables, según que la irradiación sea local o general.

Los radiógrafos y radiólogos industriales, por la naturaleza de su trabajo, suelen padecer irradiación generali-

En general, si no existen condiciones locales de protección (trincheras, muros, pilastras, etc.), las exposiciones cortas, son paradójicamente más dañosas que las largas, pues no permiten al operador alejarse demasiado de la fuente.



En los Equipos de Radiología Industrial, hay dos grandes familias:

- Los equipos de rayos X.
 - Los equipos de rayos gamma.
- A los primeros se les denomina «fuentes electrónicas», y a los segundos, «isotópicas».

zada, siendo relativamente poco frecuente la local. Esta sólo se produce cuando, por imprudencia, se pone una parte del cuerpo (generalmente las manos) en la inmediata vecindad de una fuente radiactiva, aunque ésta sea de poca actividad. Si esto ocurre, al cabo de unas horas suele producirse un enrojecimiento ardoroso de la piel que, en los casos graves, va acompañado de depilación y aparición de una llaga profunda de muy difícil curación por la baja capacidad cicatrizante de los tejidos próximos. La necrosis irreversible de la zona, y la forzosa amputación de la parte afectada, suelen ser el desenlace del accidente.

En la irradiación generalizada aguda, la dosis recibida en un intervalo corto de tiempo es determinante de la magnitud de los síntomas y de la evolución del paciente. El cuadro II, propuesto por el doctor Pérez Modrego, recoge la sintomatología típica en función de las dosis, si bien hay que dejar constancia de que éstas son, todavía, objeto de controversia.

La irradiación generalizada crónica se manifiesta por acumulación de daños inobservables a lo largo del tiempo. Dado que los diferentes tejidos tienen diversas radiorresistencias, la irradiación crónica se ceba, lógicamente, en los más sensibles. Estos son aquellos en que la actividad reproductora celular es alta, como ocurre en el caso de los órganos hematopoyéticos (generadores de sangre), tales como la médula ósea, o en los órganos en que se engendran las células germinales (gónadas). De acuerdo con esto, es lógico que los efectos más graves de la irradiación crónica sean leucemias (radioleucemias), esterilidad y anomalías genéticas: ejemplo, síndrome de Down (mongolismo) en la descendencia.

Es especialmente significativo que estas enfermedades puedan aparecer al cabo de varios años (a veces más de veinte) de haberse suspendido el trabajo con fuentes radiactivas. También es de gran importancia médico-legal conocer que las enfermedades ocasionadas por la radiación (con la excepción de las radiodermitis o «quemaduras de rayos») no presentan un conjunto de síntomas específicos propios de la causa originaria, como ocurre con otras enfermedades profesionales: silicosis, saturnismo, etc., no existiendo diferencias significativas entre las padecidas por trabajadores que manejan fuentes radiactivas y los que puedan aquejar a cualquier otra persona. Son razones estadísticas, pues, las que han permitido relacionar causas y efectos. De acuerdo con estos criterios, es razonable atribuir a la acción retrasada de las radiaciones penetrantes la existencia de una leucemia en un operador radiógrafo, si bien no es imposible que ese mismo operario pudiera haber contraído la misma enfermedad sin haber estado en contacto, en su vida, con una fuente radiactiva. De todos modos, el estudio de daño cromosómico puede ser un buen indicio de la causa de los síntomas observados, aunque se trata de

técnicas difíciles que proporcionan resultados no siempre categóricos.

EL TRABAJO DEL RADIOGRAFO INDUSTRIAL

Hay dos clases de radiógrafos industriales: los que trabajan en instalaciones fijas, sitas en talleres, fábricas o laboratorios, y los que lo hacen a pie de obra o, como se dice en la jerga del oficio, «en montaje». La protección en cada caso presenta características muy diferentes. Una instalación fija puede, en principio, ser tan segura como sea debido. Y si no lo es, es siempre por asunto de presupuesto, y esto, en el terreno de la seguridad, debe considerarse como cosa muy secundaria. En cambio, el trabajo a pie de obra es inevitablemente arriesgado por las condiciones en que el operador ha de desenvolverse. Puede decirse que los dos medios de protección más eficaces de que dispone son el tiempo y el espacio. El primero debe utilizarlo para llevar cuenta exacta del que permanece sometido a las dosis de radiación implícitas en cada trabajo. El segundo debe emplearlo con la mayor generosidad, para intercalar la mayor distancia posible entre él y la fuente radiactiva en acción.

Hay que subrayar que en el trabajo a pie de obra hoy se emplean en España, casi exclusivamente, fuente isotópicas, que plantean problemas de protección bastante más graves que los equipos portátiles de rayos X. La razón es simple. Los equipos de rayos X son demasiado voluminosos, caros, delicados y engorrosos para ir con ellos por los andamios.

Antes de iniciar un trabajo, y junto a la planificación técnica del mismo, hay que planear también la seguridad. Lo

CUADRO III	
DOSIS MAXIMAS PERMISIBLES (Rem/año)	
Cráneo	15
Cristalino	15
Tiroides	20
Esternón y costillas	10
Brazo	30
Visceras	15
Antebrazo y mano	75
Genitales	5
Muslo (fémur)	30
Pierna y pie	75

primero es inevitable y se hace. Lo segundo aparece como un incordio que puede afectar negativamente al plan técnico y, con frecuencia, se soslaya o se deja al «buen sentido» del operador. Pero, con harta frecuencia, éste se encuentra entre la espada del riesgo y la pared de unos programas de trabajo fijados por otros, en base a imperativos técnico-económicos exclusivamente.

En general, si no existen condiciones locales de protección (trincheras, muros, pilastras, etc.), las exposiciones cortas son, paradójicamente, más dañosas que las largas, pues no permiten al operador alejarse demasiado de la fuente. Así, trabajando con una fuente de 50 Ci de Iridio 192, que exija para una cierta labor de rutina exposiciones de dos minutos, el gabinete técnico puede programar una radiografía cada diez minutos, cosa perfectamente posible. En una jornada de ocho horas el operador puede obtener 48 radiografías, que significan noventa y seis minutos de exposición. Dado que no le va a ser posible alejarse más allá de los 20 m a que se sitúa el llamado «telemando», acumulará en ese día de trabajo unos 100 mRem. Según el siguiente cálculo:

$$\frac{0,5 R \cdot h \cdot m \ 50 \text{ Ci} \cdot 1.000}{20^2 \text{ m}^2} =$$

$$= 62,5 \text{ mR/h m/Ci}$$

siendo 0,5 un valor constante para el Iridio 192

$$\text{Dosis} = \frac{62,5 \times 96}{60} = 99,8 \text{ mRem}$$

No es una dosis exagerada, a condición de que no se repita. Pero ocurre que el operador tendrá, probablemente, que hacer otro tanto al día siguiente, y al otro, y al siguiente del otro, y así sucesivamente. El resultado será una sobredosis evitable, ya que no se trata de un accidente, sino de una situación de trabajo absolutamente normal y previsible. Solución: emplear varios operadores o hacer menos radiografías por día. En ambos casos la rentabilidad del trabajo bajará y la dirección técnica pondrá el grito en el cielo. Pero es algo a lo que hay que ir, inevitablemente y cuanto antes. Paciencia, pues.

EL CONTROL DOSIMETRICO

Independientemente de que el operador haga sus cuentas antes de iniciar

Hay que desterrar la creencia de que los objetos radiografiados o los ambientes en que ha habido radiaciones, se vuelven, a su vez, radiactivos. Este equivoco nace de confundir irradiación con contaminación radiactiva. La contaminación es persistente y la irradiación no.

un trabajo para estimar la dosis que, previsiblemente, le tocará acumular, deberá poder constatar en todo momento el nivel de radiación en que se mueve, la dosis que va acopiando y, frente a terceros, la dosis acumulada en periodos largos de tiempo, de uno o dos meses, generalmente. Para ello dispondrá permanentemente del siguiente equipo:

- Un contador de radiación, generalmente tipo Geiger Müller.
- Una, o mejor aún, dos detectores electroscópicos de los conocidos como «plumas» dosimétricas.
- Un dosímetro de película o de fotoluminiscencia.

El primero le servirá para:

- Comprobar que los niveles de radiación son aceptables.
- Acotar zonas controladas de acceso no permitido.
- Comprobar la correcta localización de las fuentes isotópicas, especialmente cuando éstas están encerradas en su equipo contenedor.

El segundo le permitirá comprobar directamente la dosis acumulada en su corto periodo de tiempo. Finalmente, el tercero es imprescindible para el control sanitario del operador y pro-

En el trabajo a pie de obra se emplean casi exclusivamente, fuentes isotópicas, que plantean problemas de protección bastante más graves que los equipos portátiles de rayos X.

porciona un testimonio escrito e imparcial de las dosis a lo largo de su vida laboral.

De hecho, aunque la normativa vigente sólo exige el contador (o equivalente) y la dosimetría de película (o equivalente), el uso de un par de plumas es más que recomendable. En cuanto a los resultados de la dosimetría, se exige se consignen en la cartilla sanitaria del trabajador, conservándose estos resultados durante, al menos, veinte años a partir de la baja de éste en la empresa.

Ahora se plantean varias cuestiones importantes. Por ejemplo: ¿Qué dosis puede recibir un operador? ¿Y un trabajador que debe permanecer cerca de donde se realizan trabajos radiográficos? ¿Y un señor que no tiene nada que ver con aquello y pasa por ahí? ¿Qué consideración merece una sobredosis? ¿Cómo se clasifica el trabajo de radiógrafos y similares?, etc. Trataremos de dar contestación a estas preguntas sin caer en una prolifera cita de textos legales (que los hay), para no aburrir demasiado al lector.

La legislación española establece que un operador autorizado para manipular fuentes radiactivas no debe sobrepasar en un año la dosis de 5 Rem, a condición de no acumular en menos de trece semanas, más de 3 Rem.

Esta misma persona, en operaciones planificadas y por una sola vez, puede acumular hasta 12 Rem.

Las personas profesionalmente expuestas a las radiaciones, pero que no están autorizadas a manejar fuentes radiactivas, no deben permanecer en ambientes con niveles superiores a 0,5 mR/hora, y en cuanto al público en general, dicho nivel debe considerarse reducido a 0,25 mR/hora.

Finalmente, hay que advertir que el trabajo con fuentes radiactivas está prohibido a los menores de dieciocho años y a las mujeres embarazadas, y que su consideración laboral es de *nocivo* y *peligroso*. En cuanto a las sobrexposiciones, han de ser consideradas accidentes laborales típicos de estos trabajos.

ACCIDENTES

Debe distinguirse entre el «accidente» y el «incidente». El segundo es una situación de emergencia, controlada y resuelta de acuerdo con planes previstos y sin daño o perjuicio para personas o cosas. En cambio, el acci-

dente es cualquier situación anómala *incontrolada*, aunque ésta acabe resolviéndose felizmente (accidente sin consecuencias). De hecho, la casi totalidad de los accidentes ocurridos debieran haber quedado en meros incidentes si no hubiera habido por medio fallos humanos: incumplimiento de las normas legales, iniciativas imprudentes, ignorancia técnica y, a veces, histerismo. Aunque no sea posible establecer una guía que prevea todo caso posible, si pueden darse unas cuantas reglas de carácter general, basadas en razones técnicas y legales. De acuerdo con esto, ante una concreta situación de emergencia, deberá procederse en el orden siguiente:

1. Constatación de la situación.
2. Acotado de zonas peligrosas y control de accesos a las mismas.
3. Estimación de las causas de la emergencia.
4. Plan de resolución de la emergencia que comprende, aparte de las medidas concretas, adoptar en cada caso:
 - Estimación de distancias mínimas a que habrá que aproximarse el personal autorizado para ejecutar el plan.
 - Tiempo de permanencia en las zonas peligrosas.
5. Estimación de las dosis a acumular en función de los datos anteriores.
6. Ejecución del plan (si los cálculos realizados lo aconsejan), controlando tiempos de permanencia y distancias.

Si el problema ha quedado resuelto, sin daños o perjuicios, bastará consignarlo como incidencia en el Libro de Operaciones, que debe acompañar a toda fuente radiactiva. En caso contrario, se informará a la Delegación de Industria correspondiente y al Consejo de Seguridad Nuclear.

SEGUROS

Ya se aludió, a propósito de la normativa que regula el uso de fuentes radiactivas, al Reglamento de Cobertura de Riesgo de Daños Nucleares, aplicable, también, a las fuentes radiactivas. Según este documento, cuando una instalación es autorizada, el propietario queda obligado a suscribir con una Compañía de Seguros una póliza que cubra el riesgo de daño estimado por el Consejo de Seguridad

La legislación española establece que un operador autorizado para manipular fuentes radiactivas *no* debe sobrepasar en un año la dosis de cinco Rem, a condición de no acumular en menos de trece semanas más de tres Rem.

Nuclear. En general, las cuantías para equipos de radiografía oscila alrededor de dos a cinco millones por equipo, cifra sobre la que se aplica el 2 ó 3 por 1.000 como cuota anual, según la naturaleza de la fuente, tipo de trabajo, etcétera.

Sin embargo, el tema del seguro no se agota con esto. De hecho, en el caso de fuentes que, por negligencia, irradian a público en general o que, por accidente (evitable o no), obligan a detener procesos industriales con pérdidas de muchos millones de pesetas por hora, puede plantear movimientos de indemnizaciones de cuantía sumamente elevados. De hecho, nuestra experiencia nos ha mostrado que todas las compañías que hemos visto actuar en estos casos no tenían gran experiencia en estos siniestros al no disponer de técnicos especializados.

CONCLUSIONES

A lo largo de los párrafos recorridos se ha perfilado la silueta del mundo, un tanto complejo, peculiar y semidesconocido, de la radiografía industrial. De lo expuesto, y de lo que ello implica, pueden sacarse varias conclusiones.

En primer lugar, se trata de un tema con mucha mayor incidencia de lo que parece. Son bastantes las personas que, por razón del trabajo de otros, están expuestas, casi siempre sin saberlo, a la acción de radiaciones penetrantes de las empleadas en control de calidad industrial.

En segundo, la legislación vigente, aunque bien intencionada y útil, ha sido pensada en función del riesgo nuclear y no resulta suficientemente ágil para reglamentar eficazmente el uso de fuentes radiactivas como las que nos ocupan. El tema del transporte *real* de fuentes isotópicas merecería, por sí, un artículo entero.

En tercer término, los servicios mé-

dicos de las empresas no han asumido aún eficazmente el tema del riesgo de irradiación, siendo un tanto ambigua, en la práctica, la aplicación de términos tales como accidente laboral, incapacidad temporal o permanente, etcétera, tan clara en otros ámbitos industriales. Además están los polémicos pluses de peligrosidad, asignados o no a los operadores, peones, etc. implicados en riesgo de irradiaciones.

En cuarto lugar, hay una fuerte desinformación, a nivel laboral medio, de los riesgos *reales* implícitos en el trabajo con fuentes radiactivas.

Finalmente, hemos constatado una cierta nebulosidad en la aplicación concreta de la normativa sobre indemnizaciones, en caso de daños o perjuicios ocasionados por fuentes radiactivas.

No obstante, el panorama actual, comparado con el que había en la práctica hace unos pocos años, ha evolucionado rápida y alentadoramente. Hoy empieza a ser raro encontrar a un radiógrafo trabajando sin licencia. Los operadores se preocupan cada vez más de su dosimetría personal y exigen a sus empresas estar informados de los resultados de la misma. Las rutinas de trabajo se van volviendo más seguras. El personal ajeno a Control de Calidad se inquieta y pide garantías cuando aparece por allí alguien haciendo radiografías. Hoy no hay empresa sería que conceda un trabajo de inspección radiológica a quien no demuestre tener en regla su documentación legal...

Todo ello nos permite ser moderadamente optimistas de cara al futuro. Pero nuestro optimismo estará mejor fundado si se desarrollase una normativa específica para el trabajo con fuentes radiactivas de uso industrial y se pusieran en juego los medios necesarios para su ágil cumplimiento. ■

BIBLIOGRAFIA

- MICHOU Y CHATELET: «Elements de protection contre les radiations ionisantes». *Pub. Soud. Autogène*. París, 1979.
- CENTRE D'ETUDES DE PREVENTION: *Manuel de securité de radiographie industrielle*. París.
- LAPP, J.: *Radiación y radiactividad*. Buenos Aires, 1961.
- PEREZ MODREGO y PLATA BEDMAR: *Radiaciones ionizantes*. Madrid, 1965.
- INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY. *Tech. Rep.*, núms. 109, 133, 152. *Safety Series*, núms. 1, 6, 14, 30, 32, 37 y 38.
- BUREAU INTERNATIONAL DE TRAVAIL (Ginebra): *Manuel de Protection Contre les Radiations dans l'industrie* (5 vols.).
- ALVAREZ DE BUERGO, L.: *Aplicación de la Seguridad Nuclear en España*. Inst. Est. Nuc., 1982.