

Protección radiológica[†]

Tte. Cor. Snd. Víctor Manuel **Saucedo-Almazán**,* Tte. Cor. Snd. José Luis **Barajas-Ortíz****

Dirección General de Sanidad-Hospital Central Militar. Ciudad de México.

“Ni los rayos ‘X’ acusan una novedad tan grande como se cree, ni mucho menos representan en Medicina un descubrimiento tan útil como se piensa. Porque no pueden abrigarse esperanzas de obtener retratos del cerebro dentro del cráneo, de los pulmones dentro del tórax y de las vísceras abdominales dentro de la pelvis. Tales exageradas ilusiones son propias de algunos espíritus cándidos y excesivamente creyentes”. Profesor Royo Villanova, Revista de Medicina y Cirugía Prácticas, 1896.

RESUMEN

La ciencia y arte de la radioprotección, más apropiadamente llamada física sanitaria, creció en forma paralela con el perfeccionamiento del uso de los rayos “X” y de la radioactividad. Los rayos “X”, descubiertos por el físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen, el 8 de noviembre de 1895, se conocieron en todo el mundo poco después del comienzo del año 1896. Los científicos y la gente común fueron igualmente cautivados por los misteriosos rayos capaces de atravesar la materia; diarios y revistas proveyeron al público de numerosas historias acerca de sus propiedades, algunas reales, otras totalmente descabelladas. Inevitablemente, el uso diseminado y sin ningún tipo de restricciones de las radiaciones ionizantes condujo a francas lesiones que, al principio, no eran atribuidas a los mismos rayos, sino a la electricidad, a problemas técnicos, etc. Pero mientras que algunos investigadores ignoraban la causa de las lesiones en la piel que podían constatar, otros comenzaron a relacionar a las radiaciones con las quemaduras y se abocaron a idear rápidamente distintas formas de protección.

Palabras clave: Radioprotección, radiosensibilidad, radioactividad, dosis, Röntgen.

Introducción

El hombre ha estado expuesto a las radiaciones ionizantes desde su aparición en la faz de la Tierra. Aun cuando es ajeno a la práctica radiológica, algunos alimentos y otros

Radio-protection

SUMMARY

The science and art of radio-protection, more correct call sanitary physics, grew together with the perfection of the X rays and the radioactivity. The X rays was discovery by the German physicist Conrad Röntgen in November 8th, 1895, and was known in all the world at the beginning of 1896, the scientific and the common people were captivate with the mystery ray how can cross the materials; newspapers and magazines gave to the public, many histories about the real and imagined properties. The indiscriminate use of X rays without restriction produced many injuries, at the beginning this wounds wasn't given to the X rays and they thought there were provoked for the electricity and technique problems. While many investigators did not know the cause of skin wounds, somebody connected the radiations with the burns and quickly tried to think in any kind of protection.

Key words: Radio-protection, radiosensitivity, radioactivity, dose, Röntgen.

materiales de uso común son fuentes emisoras de radiación ionizante. El sol, fuente principal de radiación cósmica, y los materiales existentes en el planeta mantienen una determinada cantidad de radiación a la que los físicos denominan “radiación de fondo” o “ambiental”.

[†] Artículo especial por invitación con motivo del 56/to. Aniversario de la Revista de Sanidad Militar.

* Ayudante General de la Dirección General de Sanidad. ** Jefe de Seguridad Radiológica y Red Digital del Departamento de Imagenología del Hospital Central Militar.

Correspondencia:

Tte. Cor. Snd. Víctor Manuel Saucedo-Almazán

Dirección General de Sanidad. Ayudantía General. Av. Ejército Nacional. Campo Militar Marte No. 1-J, Predio Reforma, Edif. 2, 2/o. piso, Col. Lomas de Sotelo. C.P. 11500, México, D.F.

Aceptado: Junio 30, 2004.



Figura 1. W. C. Röntgen, presentando a la comunidad científica de Würzburg, los aspectos del reciente descubrimiento (28 de diciembre de 1895).

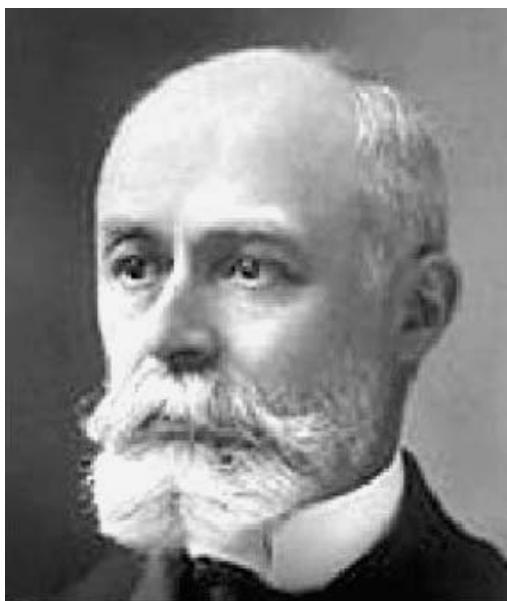


Figura 2. A. H. Becquerel, ganador del Premio Nobel en Física en 1903.

A pesar de ello, la radioprotección tiene sus inicios a principios de 1896, apenas unos meses después del descubrimiento de los rayos “X” por el físico alemán W. C. Röntgen (*Figura 1*) y los trabajos realizados con uranio y radio por Henry Becquerel (1896) (*Figura 2*), y el matrimonio Curie (1898), respectivamente.

Sin duda, pocos descubrimientos han producido la fascinación y el interés inmediato, tanto entre los científicos como en el público, que despertó el hallazgo reportado por Röntgen los primeros días de 1896: una nueva forma de energía, que no se podía sentir, degustar, ver, oír, pero que definitivamente no era inocua y además capaz de atravesar no sólo estructuras del cuerpo humano, sino también paredes, amenazando con acabar para siempre con la vida privada y la intimidad. Muchos investigadores cambiaron el curso de sus trabajos y se dedicaron con furor al estudio y utilización de los rayos del físico alemán, de modo tal que un mes después del anuncio algunos cirujanos de Estados Unidos y Europa se guiaban por radiografías para realizar su trabajo. Pero

los usos no se limitaron al campo de la Medicina, hubo otros más disparatados, incluyendo sesiones de ocultismo, que fueron ideados en todo el mundo para divertir a los curiosos y engordar los bolsillos de los feriantes: el mismo Röntgen estaba indignado ante el uso desaprensivo que se hacía de su descubrimiento.

Los rayos “X” fueron recibidos sin ningún tipo de desconfianza, y utilizados sin restricciones. Esta amplia difusión hizo que las lesiones provocadas por ellos se percibieran y reportaran casi desde el comienzo. Pero los investigadores no estaban muy seguros de cuál era la causa de los incidentes cutáneos observados (*Figuras 3 y 4*), que ellos llamaban “*golpes de sol o insolaciones eléctricas*”. Hay que considerar que también hubo víctimas de la alta tensión, tal es el caso del Dr. François Jaugeas, Jefe de Laboratorio de Radiología del Hospital de París, electrocutado en 1919 en el transcurso de un examen radioscópico.

La confusión, la ignorancia y las opiniones dispares acompañaron los primeros pasos de la radioprotección médica. Su historia puede dividirse en cuatro períodos cronológicos principales:

- **La era de los pioneros de la protección:** (1895-1915) Marcada por el reconocimiento del peligro de las radiaciones y el desarrollo de las primeras medidas de protección fomentadas por un pequeño grupo de científicos.
- **La edad de oro de la radiología:** (1915-1940) Notable no sólo como un tiempo de grandes progresos en la aplicación médica de los rayos “X” y de la radiactividad, sino también por el establecimiento de mecanismos y unidades de medición y esfuerzos organizados en radioprotección.
- **La edad de oro de la radioprotección:** (1940-1960) Desarrollo de las bases científicas y técnicas de la protección moderna y nacimiento de la radiofísica sanitaria como profesión.



Figura 3. Efectos deletéreos de la radiación “X” en los inicios de su aplicación en medicina.



Figura 4. Posterior a las radiografías de cráneo, se observaba caída del pelo y enrojecimiento de la zona que quedaba en contacto con el tubo de rayos “X”.

- **La era moderna:** (1960-a nuestros días) Regulación de la utilización de los rayos “X”. Aumento de la complejidad de las aplicaciones médicas de los rayos “X” e isótopos radiactivos. Desarrollo de nuevas modalidades diagnósticas que evitan el uso de radiaciones ionizantes.

Antecedentes históricos (sobre una nueva clase de rayos)

Wilhelm Conrad Röntgen, rector de la Universidad de Würzburg, en noviembre del año de 1895, era uno de los físicos dedicados a investigar el comportamiento de los rayos catódicos en un tubo de descarga gaseosa de alto voltaje. Para evitar la fluorescencia que se producía en las paredes de vidrio del tubo, lo había envuelto con una cubierta de cartón negro. Entre los objetos que estaban en su laboratorio figuraba una pequeña lámina impregnada con una solución de cristales de *platino-cianuro de bario*, que por la luminiscencia amarillo-verdosa que producía al ser tocada por la luz de los rayos catódicos, era una sustancia frecuentemente empleada por los investigadores.

Una tarde, al conectar por última vez el carrete de Ruhmkorff a su tubo, descubrió que se iluminaba el cartón con *platino-cianuro de bario* que se hallaba fuera del alcance de los rayos emitidos, los cuales, en el mejor de los casos, se atenuaban a unos 8 cm de la placa obturadora. Esta débil luminiscencia seguía siendo visible aun en el otro extremo del laboratorio, a casi dos metros del tubo envuelto en cartón negro.

Röntgen era daltónico y no distinguía los colores de las insignias de sus alumnos en las fiestas de la Universidad,¹ pero eso no le impidió ver claramente la luz verde emitida por el cartón, y dada su acuciosa mentalidad de investigador, no podía dejar pasar este fenómeno sin tratar de averiguar la causa. Supuso que interponiendo un objeto entre la luz invisible y el cartón fluorescente que la reflejaba, debería verse su sombra. Interpuso un mazo de cartas; descubrió, para su sorpresa, que aun poniéndolo entero, apenas se producía una sombra. Un libro grueso de mil páginas sólo redujo levemente la luminiscencia del cartón con *platino-cianuro de bario*. De modo que esta nueva radiación no sólo era invisible, sino que además tenía la facultad de atravesar los cuerpos opacos. Como diría años después el propio Röntgen, aquél fue “un regalo maravilloso de la naturaleza”.

Con el paso de los días, Röntgen tuvo la necesidad de documentar sus experimentos y pensó en fotografiar la pantalla fluorescente donde se reproducía en forma curiosa la silueta de los objetos interpuestos: el cuadrante y la aguja magnética de su brújula, el cañón de la escopeta arrinconada contra la pared, la moldura y los goznes de la puerta del laboratorio. Entonces hizo un nuevo descubrimiento: la caja de placas fotográficas que tenía sobre la mesa estaba completamente velada. Su intuición le dijo que los nuevos rayos habían atravesado la caja y el envoltorio que protegían a las placas de la luz y habían actuado también sobre la emulsión. Para comprobarlo colocó la caja de madera que contenía las pesas de bronce de su balanza de precisión sobre una placa fotográfica envuelta en su papel negro protector, conectó su tubo y esperó. Al revelarla, encontró la reproducción exacta de las pesas metálicas, sin embargo, la caja de madera había desaparecido.

El descubrimiento más excitante se produjo cuando Röntgen interpuso su propia mano entre el tubo y la pantalla y comprobó que, si bien los tejidos blandos eran atravesados por la radiación, el esqueleto se representaba nítidamente. El 22 de diciembre de 1895 le pidió a su esposa Bertha que colocase la mano sobre la placa de cristal y luego de 15 minutos de exposición, los huesos de la mano y el anillo de casada de Bertha aparecieron en la placa recién revelada. Ver su esqueleto le produjo un gran impacto y temor (*Figura 5*).

Röntgen había apuntado todas sus experiencias concienzudamente y entregó un manuscrito con sus investigaciones el 28 de diciembre de 1895 a la Academia de Ciencias Físicas y Médicas de Würzburg.² La publicación apareció en el número 9 de la *Sitzungs Berichte der Physikalisch Medizinischen Gesellschaft zu Würzburg* la primera semana de 1896.

¿Cuál fue en realidad el mérito de Röntgen? Muchos de los físicos que trabajaban con los tubos de Geissler o de Crookes, incluyendo a su propio ayudante Zehnder, habían observado la luminiscencia de algunos materiales próximos al tubo, pero ninguno de ellos reconoció este fenómeno como algo especial. Curiosamente varios años antes, el propio Geissler trabajando en su laboratorio, había reclamado a la casa de materiales fotográficos Ilford porque le habían man-



Figura 5. Primera radiografía tomada por el Dr. W. C. Röntgen, corresponde a su esposa Bertha Röntgen.

dado placas totalmente veladas.¹ Los rayos “X” de su tubo habían sido con toda seguridad la causa de este fallo, pero solamente Röntgen tuvo la mezcla suficiente de intuición y genio para comprender que se enfrentaba a un tipo de energía desconocida y de características tan sorprendentes que ni siquiera hubieran podido imaginar las mentes más fértiles de la época.

El 5 de enero de 1896, los vieneses leían en la primera página del diario *Presse* acerca de los extraordinarios rayos del Dr. Röntgen y contempla la reproducción de sus imágenes. A partir de aquí la noticia se difundió por todo el mundo en forma veloz, siendo acogida con alabanzas y entusiasmo por algunos, y con críticas y escepticismo por otros. En 1901, Röntgen, que en toda su vida solamente aceptó las distinciones de carácter científico, recibió el primer premio Nobel en Física.

Sólo dos meses después del anuncio del descubrimiento de los rayos “X”, un físico francés comunicó al mundo que había encontrado unos rayos penetrantes similares, pero emitidos por sales de uranio. Henri Becquerel, físico y académico como su padre y su abuelo, y como ellos, profesor en el Museo de Historia Natural, publicó tres notas sucesivas a la Academia de Ciencias de París, el 24 de febrero, el 2 y el 9 de marzo de 1896. Son las primeras aplicaciones de los rayos “X” las que le incitaron a preguntarse si los cristales de uranio que impresionaban sus placas fotográficas no emitirían también rayos “X”. El anuncio del descubrimiento de la radiactividad, a diferencia del de los rayos “X”, pasó totalmente desapercibido, no sólo para el público, sino también para la comunidad científica. Sólo dos años más tarde,

cuando los Curie descubrieron el radio, se difundió el interés por el tema. Henri Becquerel compartió con Pierre y Marie Curie el premio Nobel en Física en 1903.

La era de los pioneros

En marzo de 1896, las cartas a los editores de revistas científicas de los Estados Unidos empezaron a señalar hechos reveladores sobre la acción biológica de los rayos “X”. Thomas Alva Edison, una vez que tuvo conocimiento de la comunicación de Röntgen a la Academia de Würzburg, construyó su propio aparato, dedicándose a difundirlo, así como a sacar de él el máximo provecho económico posible. Definen su carácter pragmático las opiniones vertidas en un periódico americano: “...el profesor Röntgen probablemente no va a obtener ni un solo dólar por su descubrimiento. Pertenece a esa clase de científicos puros que estudian por placer y por el deseo de penetrar en los secretos de la Naturaleza. Después de haber descubierto algo maravilloso, algunos deberían pensar en ello desde el punto de vista comercial... y obtener un beneficio financiero”.

Edison pronto reportó irritación en los ojos por trabajar con tubos “a fluorescencia”, y aunque no estaba seguro de que se debiera a los rayos “X”, recomendó no usarlos en forma continua. Desgraciadamente, no evitó la sobreexposición de su asistente, Clarence M. Dally, que era el que ponía las manos en el fluoroscopio durante las demostraciones en público. Dally, que era zurdo, sufrió una radiodermatitis que lo llevó a la amputación de la mano izquierda, además de caída del cabello de la frente y las cejas y eritema; finalmente, moriría como resultado de las radiaciones en 1904.

El 10 de abril de 1896, J. Daniel informó sobre una depilación que sobrevino en un paciente veinte días después de la larga búsqueda de un proyectil en el cráneo. Asimismo, en julio de 1896, Mr. William Levy, de Eau Claire, Wisconsin, exigió conocer el emplazamiento de una bala que había recibido en la cabeza diez años antes; el Profesor Fred S. Jones del Laboratorio de Física de la Universidad de Minnesota efectuó dos radiografías sobre este paciente, que llegó a las ocho de la mañana y se retiró a las diez de la noche: sus cabellos se cayeron en los días siguientes del lado derecho de la cabeza, donde estaba fijado el tubo, la oreja derecha se inflamó con aspecto de congelamiento y se observaron igualmente lesiones en la cabeza, la boca y la garganta, sin embargo, Mr. Levy demandó una nueva vuelta por los rayos “X” justo antes de la intervención destinada a retirar la bala.

A pesar de la cantidad de incidentes reportados, la opinión que prevalecía entre los científicos era que las lesiones de la piel no eran causadas por los rayos “X”, sino más bien por otros factores relacionados, como la luz ultravioleta, los rayos catódicos, la inducción eléctrica, la oxidación por ozono, la idiosincrasia del paciente o fallas técnicas.

Pero los reportes eran tan persistentes y tan numerosos que un físico americano, Elihu Thomson, para despejar las dudas, decidió verificar sobre sí mismo la acción de los rayos en los tejidos vivos. Expuso el dedo meñique de su



Figura 6. Debido a la forma de las exploraciones y a la creencia de la inocuidad de los rayos “X”, se presentaban muchos casos negativos en médicos y físicos.



Figura 7. Primeros aditamentos de protección radiológica, aplicados al tubo de rayos “X” en la práctica odontológica.

mano izquierda durante media hora por día al tubo de Crookes que poseía. Durante una semana no se produjo ningún efecto y su piel permaneció intacta. Pero después de un cierto tiempo el dedo enrojeció, se puso extrañamente sensible, hinchado y doloroso, y dos tercios de la parte expuesta estaban afectados por una flictena que se extendía cada día.

Diecisiete días después de la exposición el dedo todavía se veía mal, pero empezaba a mostrar una tendencia a la curación, la acción destructiva no se había extendido más allá

de la superficie y se limitaba a la parte expuesta. El dedo vecino, menos directamente irradiado, se puso rojo y doloroso, pero sin flictena y curó rápidamente. Para responder a las objeciones de quienes aún no estaban seguros, Thomson repitió la experiencia con otro dedo, pero cubriendo de plomo, salvo a nivel de una pequeña ventana: la radiolesión no apareció más que en el sitio no protegido. Un resumen de sus experimentos apareció en “American ‘X’ Ray Journal” de noviembre de 1898.

Nikola Tesla, ingeniero electrónico, publicó en mayo de 1897 en “Electrical Review” el experimento que efectuó sobre la piel de sus manos: constató que los efectos eran netamente atenuados si se interponía una placa de aluminio conectada a tierra entre el tubo y la región irradiada y atribuyó estos efectos a la electricidad estática. Elihu Thomson también opinó que una pantalla metálica protegía de una manera eficaz, pero, como la interposición de tal pantalla aumentaba el tiempo de exposición, se preguntaba si habría un verdadero beneficio en tanto no se pudiera encontrar una pantalla que separase los rayos útiles de los que eran absorbidos por la piel.

El primer estudio sistemático de los accidentes que sobrevinieron después de 1896 figura en un destacado reporte de los médicos franceses Oudin, Barthélémy y Darier, comunicación hecha en el XII Congreso Internacional de Medicina en Moscú (19 al 26 de agosto de 1897) y publicado en la *France Medicale* de 1898, N° 8 a 12.³ Estos profesionales pueden agruparse, en razón de su reporte, entre los médicos que estaban persuadidos de que los rayos “X” tenían acciones biológicas y que podían ser peligrosos, tanto para el paciente examinado como para aquellos que manipularan los instrumentos. El Dr. Darier, médico dermatólogo e histólogo del Hospital de París, se vio conducido a la investigación de las radiolesiones a raíz de la siguiente historia: una joven de Dublín había visto aparecer, el 30 de mayo de 1896, una escara abdominal de más de 200 cm² después de dos tentativas de radiografía de abdomen. La joven consultó al Dr. Apostoli, quien requirió la opinión del Dr. Darier, este último diagnosticó una gangrena seca de la dermis e hipodermis. Apostoli presentó el caso ante la Academia de Ciencias el 14 de junio de 1897 y concluyó que la lesión se debía a la proximidad del tubo de rayos a la piel. En efecto, el rendimiento de los tubos primitivos era muy débil, y para tomar muchas radiografías había que acercarlos a pocos centímetros de la piel, al límite de riesgo de una descarga eléctrica, mientras que los tiempos de exposición iban desde 20 minutos a varias horas.

Oudin, Barthélémy y Darier recolectaron en su reporte 50 accidentes provenientes de todos los países. Incitan a trabajar con mucha prudencia, pero señalan que el número de accidentes es mucho menor que el causado, por ejemplo, por el cloroformo. Sus casos sólo conciernen a lesiones cutáneas, las únicas aparentes en aquella época:

- Un demostrador que efectuaba experiencias en público seis a ocho horas por día, vio su mano derecha ponerse

dolorosa y roja, las uñas se cayeron, después le siguió la mano izquierda y registró además una pérdida del cabello de las sienes, de la frente y de las cejas, así como de la parte izquierda de su bigote.

- Un tubo de rayos “X” mantenido durante 45 minutos a 3 cm del temporal izquierdo de un sujeto, entrañó una tumefacción de tejidos de 10 cm de diámetro, cuya cicatrización, muy lenta, se produjo desde la periferia hacia el centro.

Oudin, después de varios meses de experimentación, vio aparecer una dermatitis crónica en el dorso de sus manos, las uñas, aunque dolorosas y espesadas, no se cayeron. Su inquietud no fue muy grande; después de pasar un mes sin exponerse reapareció el aspecto normal, ante lo cual se dijo: “como para los cirujanos, cuyas manos no soportan las soluciones de corrosivo o de ácido fénico”.

Un lupus de la región temporal tratado con rayos “X” se mejoró, pero apareció en su lugar una alopecia seguida de una reposición lenta de cabellos, que fueron completamente anormales y en todo diferentes a los otros.

Los autores analizaron estas observaciones y sus reflexiones, aunque incompletas, son extremadamente interesantes: estos accidentes se caracterizan por la ausencia de sensación inmediata, la aparición tardía de las lesiones y la lentitud de su curación. Distinguen tres categorías:

- Lesiones de los tegumentos, epidermis y dermis.
- Síntomas “viscerales”: es decir, las dermatitis superficiales y profundas, variables según la edad y constitución del sujeto, lentas en aparecer, dolorosas y de curación tardía, con depilación y alteraciones ungueales; los autores remarcan que los accidentes son más graves si se exponen nuevamente las regiones dañadas antes de la curación completa.
- El compromiso de órganos internos se reduce a poca cosa más que los vómitos de un chico de siete años “sometido a la radiografía”.

La interpretación de los hechos es juiciosa, pero incompleta: existe una diferencia en la sensibilidad de los individuos, pero, si la exposición es larga, todos presentarán lesiones. La mayor parte sobreviene cuando la distancia del tubo a la piel es de pocos centímetros; de ahí la recomendación de alejar el tubo del individuo a un mínimo de 40 o 50 cm.

Si bien estos autores tuvieron el mérito de dirigir la atención sobre las radiolesiones, y por consiguiente poner en guardia a los investigadores del mundo entero, no hablaron más que de lo que podían constatar, es decir, de las alteraciones cutáneas. La acción sobre los órganos profundos y sobre el tejido hematopoyético era completamente desconocida en esta fecha (*Figura 6*).

En 1900, Kienböck en Viena, y en 1901, Oudin en París, publican sus experimentos sobre animales que dejan subsistir pocas dudas acerca de la acción biológica de los rayos “X”. Oudin, que había tenido la oportunidad de ver las ra-

diodermis, entonces llamadas “*actinoleucitis*”, en él mismo y en varios colegas, se volvió muy desconfiado con respecto a los rayos y empezó a tomar precauciones, mientras que otros, menospreciando el peligro y la actitud que juzgaban timorata de ciertos investigadores, evolucionaron hacia lesiones cada vez más graves que los condujeron a mutilaciones y a la muerte.

William Herbert Rollins de Boston, un tímido y reservado dentista con profundos conocimientos en física y química, pionero de la radioprotección en los Estados Unidos, realizó investigaciones sobre los efectos de la radiación durante doce años “como diversión”.⁴ En 1901 expuso a un cobayo durante dos horas por día a los rayos “X”, la fuente estaba fuera del recinto, pero el animal murió al undécimo día. Rollins concluyó que no había necesidad de contacto ni de quemadura para producir la muerte, separando así los efectos de los rayos “X” de los de la electricidad. Sus contribuciones a la Radiología incluyen: el “criptoscopio” con una pantalla fluorescente revestida con vidrio plomado y paredes plomadas en 1896, sugerencias para cassetas protectoras de los tubos en 1902, anteojos plomados de varios centímetros de espesor para fluoroscopistas, fluoroscopia pulsada y filtración selectiva en 1903. Sus experimentos con cobayos lo hicieron pensar que los cánceres inoperables podían beneficiarse con un tratamiento basado en rayos “X”, sugirió que debían emprenderse las investigaciones con los cánceres profundos. Las contribuciones de Rollins aparecen en más de 200 notas publicadas en *The “X” Light* y en un libro publicado en Boston en 1904, “*Notes on X Light*”.

En todos los países la noción del peligro de los rayos “X” comenzó a esparcirse, exagerada por algunos y minimizada por otros, según su experiencia. E. A. Codman pensó que no había riesgos en la práctica con los rayos “X” hasta que el desgraciado caso de un médico de Connecticut, el Dr. Weldon, lo hizo cambiar de opinión. Este médico, en el año 1899, había expuesto su cadera durante 45 minutos con el tubo de Crookes a cinco pulgadas de la ingle, a raíz de lo cual le apareció una quemadura retráctil. Intentó un proceso contra la compañía Otis Clapp e Hijo de Boston, que garantizaba su aparato “contra todo peligro de quemaduras”: la demandó por 20,000 dólares, pero sólo obtuvo 5,750. Rendido ante la evidencia, Codman reportó en 1902 doscientos casos de quemaduras por rayos “X”.

A. de Pissareff, discípulo de Antoine Béclère, sostiene su tesis delante de la Facultad de Medicina de París en 1903, titulada “La acción de las nuevas radiaciones (rayos Röntgen y Becquerel) sobre los seres vivos”. Su lectura muestra que si bien ya se aceptaba y se superponía la acción biológica de los rayos “X” y de la radioactividad, los efectos eran una mera especulación: la acción no se relaciona con la longitud de onda de los rayos, no hay nociones de efecto acumulativo de las dosis, la única reacción reconocida es el eritema cutáneo, similar a la quemadura de sol, que se supone, curará sin dejar secuelas. La forma en que los accidentes son presentados en dicha tesis no da la impresión de gravedad: “Monsieur Becquerel había guardado en el bolsillo de su chaleco durante

aproximadamente dos horas 2 dg de sustancia radiactiva en un tubo de vidrio sellado. Quince días más tarde vio aparecer en su pared abdominal, a la altura del bolsillo del chaleco, un eritema que se fue oscureciendo poco a poco, después se ulceró lentamente, esta úlcera tardó largo tiempo en cicatrizar, pero no fue en ningún momento dolorosa. Durante el periodo de eritema de la primera lesión apareció en la vecindad una segunda de la misma naturaleza".³

La tesis de Pisareff de 1903 puntualiza los conocimientos de la época en materia de efectos biológicos de las radiaciones: Las reacciones cutáneas se producen tanto con los rayos "X" como con los de Becquerel.

El grado de lesión cutánea depende de la cantidad de radiación absorbida por la piel (Kienböck).

Una piel expuesta anteriormente reacciona más rápido y con mayor gravedad, que una piel expuesta por primera vez.

Si las exposiciones son espaciadas el efecto es menor.

La calidad de los rayos parece intervenir en las reacciones cutáneas.

Además, se puede leer: "No está rigurosamente demostrado en el hombre que los rayos 'X' produzcan otros problemas además de las reacciones cutáneas".

La "Semaine Médicale" del 4 de noviembre de 1903 revela el experimento crucial de Albers-Schönberg. Este investigador irradió cobayos machos y después los acopló con hembras que ya habían tenido cría, ahora bien, aunque el comportamiento de las parejas fue normal, y la facultad de copular estaba conservada, no se registró ningún nacimiento. La autopsia de los once animales de experimentación permitió constatar que "en los casos donde la duración total de la exposición a los rayos de Röntgen no había sobrepasado 195 minutos existía una oligonecrospermia, mientras que a partir de 377 minutos se había alcanzado una azoospermia; en lo concerniente a saber si este singular efecto es pasajero, o por el contrario, definitivo, los resultados de Albers-Schönberg dejan esta cuestión en suspenso". Albers-Schönberg, él mismo una víctima de la radiodermatitis crónica, recomendó restringir la frecuencia de exposición (no más de tres veces por día), llevar la distancia del tubo a 30 centímetros del paciente, construir una caseta de plomo alrededor del tubo y proteger al operador con una coraza de plomo. También desacreditó el método de comprobar la "dureza" del tubo colocando la mano entre éste y la pantalla.

En 1903 fue descrita la detención del crecimiento óseo debido a los rayos "X", en 1904, las modificaciones hematológicas en el conejo y otros animales. En el XXXII Congreso Alemán de Medicina en 1904 Kummel reportó el primer caso de cáncer desarrollado sobre una cicatriz de radiodermatitis. Éstas, en su fase crónica, se cancerizan con frecuencia entrñando sucesivas amputaciones y constituyen la causa de muerte de numerosas víctimas de la radiología.

Poco a poco apareció la noción de que los efectos profundos de los rayos "X" eran probablemente más graves que los daños cutáneos, y el peligro de las radiaciones más importante que lo que se había supuesto al principio. Aparecie-

ron entonces los accidentes ligados a deficiencias en la protección, a veces por ignorancia, que pusieron en peligro la vida de algunos radiólogos: por ejemplo, el reemplazo del vidrio plomado de la pantalla de radioscopía por un vidrio común efectuado clandestinamente por la doméstica que lo había roto: el radiólogo se enteró tardíamente por las alteraciones en su recuento sanguíneo; o el caso del Dr. Maingot, quien sufrió una radiodermatitis del pie a causa de una fisura que había pasado desapercibida en la cúpula de vidrio plomado de la ampolla de su mesa de examen.

Antoine Béclère, entre otras acciones, hizo campaña por la radioprotección: bajo el título "Medios de protección de los médicos y de los pacientes contra la acción nociva de las nuevas radiaciones: rayos de Röntgen y de radio" publicado en 1904, él preconizó múltiples reglas para adoptar. En el curso de sus viajes por el extranjero, particularmente en Alemania y en Austria, se informó sobre los resultados clínicos y experimentales de la acción biológica de los rayos, en el laboratorio de Albers-Schönberg en Hamburgo, se quedó particularmente impactado por las precauciones impuestas a los que utilizaban rayos "X": el operador se encerraba en una cabina inamovible revestida de plomo, desde el interior miraba a través de un vidrio plomado al sujeto expuesto; para efectuar una radioscopía, una mampara doble de plomo protegía al médico desde las axilas hasta los pies, además éste se vestía con un delantal protector, guantes endurecidos en nitrato de bismuto y anteojos adecuados. Las fotografías de los radiólogos alemanes, publicadas por los periódicos de la época, los representaban ataviados con verdaderas escafandras.

En 1905 Helber y Linser en Estados Unidos demostraron la gran sensibilidad de los linfocitos a las radiaciones. En 1906, C. Regaud y J. Blanc ponen en evidencia las variaciones en la radiosensibilidad según los momentos de la vida celular, el efecto esterilizante de las radiaciones débiles y prolongadas y la posibilidad de reparación espontánea a partir de las células generatrices respetadas. Trabajos similares fueron realizados por L. Halberstaedter sobre el ovario, y por Bergonié, Tribondeau y Récamier sobre las células germinales. De este mismo período son los trabajos de G. Bohn, asistente de zoología de la Facultad de Ciencias de París, quien expuso ranas y erizos de mar a los rayos de radio aportados por Pierre Curie, en el anexo de la Facultad de Ciencias de la calle Cuvier.

Bohn constató que aunque la apariencia del huevo no se modificaba "es suficiente que las radiaciones del radio atravesen el cuerpo del animal durante algunas horas, para que los tejidos adquieran propiedades nuevas, las que podrán permanecer en estado latente durante largos períodos, para manifestarse de golpe en el momento en que la actividad de los tejidos aumenta... Los tejidos que crecen y se modifican más activamente son los más radiosensibles. Así demostró que las radiolesiones, susceptibles de permanecer largo tiempo latentes, son indelebles y tienden a la supresión o perturbación de la autorreproducción, o a producir taras hereditarias, salteando a veces varias generaciones.

Bergonié y Tribondeau concretaron sus estudios sobre la radiosensibilidad de las células de la línea seminal durante 1906, y anunciaron la célebre ley a la que sus nombres quedarían ligados: "Los rayos 'X' actúan con mayor intensidad sobre las células:

- Cuando su actividad reproductora es más grande.
- Cuando su evolución cariocinética es más larga.
- Cuando su morfología y sus funciones están menos definitivamente fijadas."

Adoptada como base de la radiopatología y la radioterapia es todavía aceptada en forma unánime en estas especialidades, aunque se han encontrado algunas excepciones. En el mismo año, Warthil expone las modificaciones ocurridas en la médula ósea.

Cabe señalar la comunicación a la Royal Society of Medicine de Inglaterra de John Hall-Edwards, el 20 de noviembre de 1908, quien, víctima de graves lesiones producidas por las radiaciones, presentó la observación de su propio caso: osteítis, necrosis y cáncer hicieron necesaria la amputación de sus dos manos, y él envió las fotos y radiografías de antes y después de la amputación; sin duda esta publicación aceleró la creación de una Comisión, la primera en su género, destinada a encontrar mejores métodos de protección contra las radiaciones.

La publicación en 1914 por Gavazzeni y Minelli de sus descubrimientos en la autopsia de un radiólogo italiano, el Dr. Emilio Tiraboschi, causó gran impresión (Radiología Médica, órgano de la Sociedad Italiana de Radiología, Febrero de 1914). Tiraboschi, radiólogo del Hospital de Bergamo durante 14 años, utilizó un potente tubo sin tomar ninguna clase de precauciones. Siguió trabajando a pesar de una radiodermatitis de las manos y la cara, una anemia creciente y repetidas hemorragias. Su autopsia, que mostró lesiones en el bazo, en la médula ósea y en los testículos, hizo estremecer a los radiólogos de todo el mundo.

La edad de oro de la radiología y los comités de radioprotección

Durante 18 años, los tubos de rayos "X" fueron muy similares al tubo original de Röntgen, aunque con algunas mejoras. El desarrollo del tubo del físico estadounidense Coolidge, de alto vacío, que contenía un filamento calentado y un blanco, en 1913, fue la base de un manejo estable y reproducible de los equipos de rayos "X", un requerimiento imprescindible para que se diera la evolución técnica de la "*edad de oro*". Durante e inmediatamente después de la Primera Guerra Mundial, las reglas iniciales de la radioprotección fueron establecidas por varias sociedades radiológicas nacionales. En este terreno, Gran Bretaña jugó un papel de líder. En 1898, la Röntgen Society creó un comité para estudiar los efectos nefastos de los rayos "X", distinguiendo aquellos atribuibles a los rayos "duros" (tubos a muy baja presión) de los "blandos", cuyos operadores estaban muy mal protegidos.

Dos nombres quedaron ligados a los trabajos de este primitivo comité: el de George Kaye, y el del Profesor Sidney Russ, al que la War Office llamó durante el conflicto mundial, cuando la situación se agravó por el aumento de la potencia del material radiológico. G. Kaye devendrá presidente de la Röntgen Society en 1917 y del British Institute of Radiology en 1928. Dos reuniones de la Röntgen Society en junio de 1915 y marzo de 1916, presididas por Sidney Russ, atrajeron la atención del Almirantazgo y de la War Office sobre el peligro que corría el personal que trabajaba con rayos "X" en las difíciles condiciones de la guerra, y el National Physical Laboratory se dedicó a estudiar el material de protección contra los rayos "X".

En 1921, Sam Melville, uno de los pioneros en el uso de rayos "X", y portador de lesiones debidas a la radiación, militó a favor de la creación del British X-Ray and Radium Protection Committee: sir Humprey Rolleston fue el presidente, Melville y Russ secretarios honorarios, y entre los miembros se encontraban los doctores R. Knox, G. Harrison Orton, G. Kaye y el constructor Cuthbert Andrews. Este Comité, primero en su especie, tenía como objetivo investigar el peligro proveniente de tres fuentes principales: la exposición a las radiaciones, los riesgos ocasionados por el uso de altos voltajes, y la exposición a los gases tóxicos debidos a las descargas eléctricas. Existían varias secciones: rayos "X" empleados en el diagnóstico, en radioterapia superficial, radioterapia profunda, tratamientos con radio, industria e investigación, las instalaciones eléctricas de los servicios de radiología e inclusive la ventilación de los mismos. Este Comité contribuyó a mejorar las condiciones de trabajo de los radiólogos, ya que los servicios de radiología, los últimos en llegar a los hospitales, quedaban a menudo relegados a sótanos mal ventilados, incómodos y, por supuesto, muy poco saludables. Desde 1921 no dejó de trabajar y de retocar sus recomendaciones, la última (quinta) data de enero de 1938. Durante largo tiempo tuvo que luchar contra la ausencia de una unidad de dosis reconocida por todos los países.

Al principio, las recomendaciones del Comité Británico son consideradas por los radiólogos como molestas, incómodas para trabajar y costosas. Ante el requerimiento del Ministerio de Salud y del Ministerio de Pensiones, el National Physical Laboratory inglés comenzó a visitar hospitales y establecimientos privados para promover la aplicación de las recomendaciones.

En 1925 tuvo lugar el Primer Congreso Internacional de Radiología en Londres, presidido por el Profesor Thustan Holland. Se creó una comisión internacional de protección con representantes de Gran Bretaña, Estados Unidos, Francia, Alemania, Italia y Suecia, los Dres. Melville y Kaye fueron los secretarios. Las recomendaciones internacionales abarcaban cinco capítulos: protección contra los rayos "X", protección contra el radio, instalaciones eléctricas, ventilación e iluminación de los locales, y protección contra los neutrones. Se convino revisar las normas cada tres años, en los sucesivos congresos internacionales que tuvieron lugar en Estocolmo (1928), París (1931), Zurich (1934) y Chica-

go (1937) (*Figura 7*). El último tenía que celebrarse en Berlín en 1940, pero fue suspendido por la Segunda Guerra Mundial. En 1931 el Comité de Protección es presidido por René Ledoux-Lebard, presidente honorario, R. Sievert, y secretarios honorarios, Kaye y Melville. Para 1935, el congreso de la Sociedad de Radiología inglesa rindió homenaje a la memoria de Stanley Melville creando una conferencia anual en su nombre.

Las primeras reglas de radioprotección incluían el concepto de horarios limitados y vacaciones extra por insalubridad para los trabajadores de la radiación. El primer límite de exposición fue establecido por Mutscheller, un físico germano-americano, que lo basó en el 10% de la dosis mensual capaz de producir un eritema de la piel que curase lo suficientemente rápido como para obviar efectos indeseables futuros. En términos de unidades modernas esto equivaldría a un límite anual de 65 rads (dos tercios de un gray). El röntgen fue adoptado como unidad de medición de las radiaciones en el Segundo Congreso Internacional de Radiología de 1928. A partir de este momento las dosis de tolerancia podrían ser expresadas y documentadas en forma cuantitativa.

Un evento poco conocido pero de gran relevancia en la historia de la radioprotección tuvo lugar en un encuentro de la American Röntgen Ray Society, en octubre de 1907. Rome Vernon Wagner, un fabricante de tubos de rayos "X", reportó que en su esfuerzo por controlar el nivel de exposición de sus trabajadores, había comenzado a llevar una placa fotográfica en su bolsillo, y a revelar esa placa cada tarde para determinar si había estado expuesto a las radiaciones. Esta práctica fue claramente la antecesora del dosímetro de película.⁴ Desgraciadamente, la preocupación de Wagner llegó demasiado tarde, porque él ya había desarrollado un cáncer que le produjo la muerte seis meses después de su anuncio. Recién a mediados de la década de los 20 se recomendó ampliamente el uso de estos dispositivos. Para el final de la década ya se sabía que el film debía acompañarse de filtros para corregir la dependencia de energía. En los años 30 ya se fabricaban y comercializaban dosímetros portátiles para monitorear rutinariamente al personal, y la cámara condensadora de ionización era un instrumento común en la mayoría de los hospitales.

Para 1934, Mutscheller reconoció que las diferentes radiaciones producían efectos biológicos también diferentes, y estableció una dosis de tolerancia de 3.4 röntgen por mes para radiaciones de baja energía, y de 7.5 röntgen por mes para rayos más penetrantes. El concepto de dosis de tolerancia implicaba un umbral por debajo del cual no debían ocurrir lesiones producidas por la radiación. Este concepto persistía, a pesar de que Hermann J. Muller, ganador del premio Nobel por sus investigaciones, había demostrado en 1927 que no existía umbral para las mutaciones genéticas inducidas por los rayos "X".

El Advisory Committee on X-Ray and Radium Protection de los Estados Unidos se formó en 1929. El Comité original estaba formado por cinco físicos y tres médicos. Dados sus orígenes en el esfuerzo de las sociedades radioló-

gicas, la mayor parte de su atención estaba dirigida a las actividades médicas. Lauriston Taylor, del Departamento Nacional de Medidas, fue uno de los organizadores y líderes de este grupo y sesenta años más tarde era todavía un activo contribuyente en el campo de la radioprotección. El segundo reporte de este Comité data de 1934 y se refiere al uso del radio. En él figuran recomendaciones ocupacionales para los médicos, seis semanas de vacaciones y recuentos sanguíneos periódicos. El nivel de dosis permitido es de 0.1 röntgen por día para el cuerpo entero, y 5 röntgen por día para los dedos. Este último concepto de límite órgano-específico era un reconocimiento a la importancia de no restringir excesivamente al médico en la realización de su trabajo.

La edad de oro de la radioprotección

El comienzo de este periodo podría estar marcado por la publicación del libro "Manejo seguro de los componentes radiolumínicos" del Departamento Nacional de Medidas de los Estados Unidos en 1941. Este documento reafirmaba el nivel de exposición de los trabajadores de la radiación en 0.1 röntgen/día, y además introducía el concepto de carga máxima corporal permisible para la ingestión de un radionúclido (0.1 microcurie de radio) y concentración máxima permisible de un radionúclido (10 picocurie de radón por litro) en la atmósfera del lugar de trabajo.

Estos límites fueron elegidos como seguros basándose en las investigaciones del físico Robley Evans, quien estudió los niveles de radiactividad recibida por los trabajadores de una fábrica que sufrieron cáncer óseo después de pintar con pintura radiactiva los diales luminosos de los aviones de la Primera Guerra Mundial. La técnica de la pintura incluía meterse los pinceles en la boca para afinar la punta.⁵

La bomba atómica se desarrolló, construyó y probó en el marco del Proyecto Manhattan. Se trataba de una empresa estadounidense iniciada en 1942, durante la Segunda Guerra Mundial, en la que participaron numerosos científicos eminentes, como los físicos Enrico Fermi, Richard Feynman y Edward Teller, y el químico Harold Vrey. El director científico del proyecto, localizado en Los Alamos (Nuevo México), fue el físico estadounidense J. Robert Oppenheimer. El impacto que tuvo el Proyecto Manhattan sobre la radioprotección fue enorme, y se empezó a sentir inmediatamente después de la guerra. Se hicieron grandes avances en el área de instrumentos para detectar y medir las radiaciones, incluyendo las cámaras de ionización que monitoreaban las radiaciones emitidas o perdidas por los equipos de rayos "X". Los líderes del Proyecto Manhattan estaban conscientes de la poderosa fuente de radiaciones y radiactividad que habían creado, su preocupación los llevó a pedir, en el verano de 1942, a Ernest Wollan, un físico especializado en rayos cósmicos de la Universidad de Chicago, que formara un grupo para estudiar y controlar los peligros de las radiaciones. Había nacido una nueva profesión: la física sanitaria; al primero en usar este título, Ernest Wollan, se le unirían Carl Gamerts-

felder, Herbert Parker, Karl Morgan, James Hart, Robert Coveyou, O. G. Landsverk, L. A. Pardue y John Rose.

Son de remarcar algunas reflexiones de Morgan: “Al principio se pensó que unos pocos Físicos Sanitarios serían suficientes en Oak Ridge para servir como consultores de las varias clases de problemas producidos por la radiación. Sin embargo, algunos accidentes que ocurrieron poco tiempo después de que el reactor comenzara a funcionar, llevaron a una revisión de planes... Tanto los científicos como los trabajadores estaban tan interesados en sus experimentos y tan ocupados en varias operaciones, que podían subestimar fácilmente los peligros invisibles de la radiación. Cuando un hombre recibe mucho calor de un objeto térmicamente caliente, el dolor lo hace retroceder. Sin embargo, cuando pasa por delante de un agujero en la coraza protectora del reactor atómico, o cuando saca la cubierta de una fuente radiactiva... puede haber un daño serio, no solamente para el individuo que se descuidó, sino también para los otros que trabajan cerca de él. Además, no puede saberse el grado de lesión que recibió hasta varios días o aun años después”.

Dentro del Proyecto Manhattan, la denominación de “físico sanitario” parece haber sido elegida en parte por la necesidad de secreto, como un nombre codificado para proteger las actividades relacionadas con los armamentos nucleares, y en parte porque era un grupo de físicos que trabajaba en problemas de salud. En el entorno de este proyecto nacieron muchos de los conceptos modernos de protección, incluyendo la unidad *rem* (dosis de radiación equivalente en el hombre), que representa la cantidad de radiación absorbida por el organismo corregida según su naturaleza y tomando en cuenta la efectividad biológica; y el concepto de concentración máxima permisible para las radiaciones inhaladas. Aquí es donde la radioprotección, que había nacido con los pioneros de los primeros tiempos de los rayos “X” y el radio, alcanza su madurez.

Después de la guerra, la radioprotección cobró nuevos ímpetus al publicarse los resultados de las investigaciones llevadas a cabo durante el conflicto. Para 1948, J. W. Coltman, de Westinghouse, diseñó un intensificador de imágenes, que permitió al radiólogo mejorar la visualización durante la radiosкопia y “salir de la oscuridad”, y además representó una rebaja importante en las dosis de radiación recibidas por el paciente y por el médico.⁵ La Comisión Nacional de Radioprotección de los Estados Unidos publicó diecinueve reportes desde 1949 hasta 1960, muchos de ellos concernían directamente a la radiología. En estos reportes se estableció un cambio conceptual sustantivo en la filosofía de la radioprotección. La dosis de tolerancia dio lugar al concepto de *dosis máxima permisible*, el cual no implica necesariamente un umbral. La exposición máxima permisible para el cuerpo entero, que había sido establecida en 30 röntgen por año para 1936, fue reducida a 15 rem por año en 1948, y 5 rem por año en 1958. El cambio de unidad fue necesario por el entorno más complejo de los equipos de radiología después de la guerra. Se introdujo el concepto de beneficio *vs.* riesgo (*costo-beneficio*), que sería el predecesor

del principio A.L.A.R.A. (*As Low As Reasonably Achievable*, dicho en español, “tan bajas como razonablemente sea posible”), que es el que rige la filosofía de los límites de exposición en la actualidad.

En el año 1955, se realizó el primer simposio dedicado exclusivamente a la radioprotección en la Universidad del Estado de Ohio. Sus asistentes decidieron formar la Sociedad de Física Sanitaria, y Karl Morgan fue elegido como presidente, además, él mismo se encargó de editar la revista de la Sociedad durante los siguientes veinte años. Con el nacimiento de esta Sociedad, la radioprotección se convirtió en una profesión independiente y bien establecida.

La era moderna

La época actual no puede tratarse en una perspectiva completa todavía. Ha habido grandes progresos en materia de nuevas unidades de medición, trabajos de investigación y regulaciones. La radioprotección médica se volvió más compleja a medida que los equipos de radiodiagnóstico y tratamiento se fueron haciendo más sofisticados. La existencia de métodos que no utilizan radiaciones ionizantes, como la resonancia magnética nuclear o la ecografía, brinda a los médicos mayores alternativas a la hora de decidir a qué tipo de estudio se va a someter al paciente. Cada método posee indicaciones precisas, determinadas no solamente por el cuadro clínico, sino también por las características particulares del paciente, como su edad, su estado físico, su pronóstico y hasta su situación económica.

Los principios básicos de radioprotección elaborados con el cambio de siglo siguen aplicándose todavía. El manejo de equipos de rayos “X” o de radionúclidos requiere de licencias especiales por parte del profesional, que debe realizar cursos de capacitación para obtenerlas, incrementando así su nivel de educación y entrenamiento en relación con los riesgos inherentes a su trabajo. Las salas y los equipos de rayos “X” son inspeccionados para verificar el cumplimiento de las normas de seguridad en cuanto al grado de exposición de los trabajadores, de los pacientes y del público en general. El personal afectado al manejo y utilización de radiaciones ionizantes debe utilizar obligatoriamente un sistema de dosimetría personal para determinar las dosis de radiación a las que esté expuesto. Se han desarrollado y promulgado protocolos de consentimientos voluntarios e informados para ciertos exámenes, y se establecieron programas para obtener imágenes óptimas con mínimas dosis de exposición.

En nuestro país, en 1958, por medio del decreto N° 842, se delegó el control de los materiales radiactivos a la Comisión Nacional de Energía Atómica, pero en este decreto no se contemplaba todavía el control de los equipos generadores de rayos “X”. El Ministerio de Salud y Acción Social cubre este aspecto de la radioprotección sanitaria por medio de la Ley N° 17.557 del año 1967, del decreto reglamentario 6.320 y de la resolución ministerial 2.680 del año 1968. Estos textos determinan las con-

diciones de habilitación y de instalación de los equipos de rayos "X" para radiodiagnóstico médico y dental, radioterapia, radiología industrial o de investigación, y aceleradores de partículas, así como las condiciones de idoneidad del personal profesional, técnico y auxiliar afectado al manejo de estos equipos.

En la Resolución N° 273 del 7 de julio de 1986 se establecen las siguientes dosis máximas permisibles para las personas que, en razón de sus tareas habituales, resultaren expuestas a Rayos "X":⁷

- Para irradiación uniforme de todo el cuerpo o en particular de gónadas y órganos hematopoyéticos: 50 milisievert/año (5 rem/año).
- Para irradiación de extremidades: 750 milisievert/año (75 rem/año).
- Para irradiación localizada de cualquier otro sector del organismo: 150 milisievert/año (15 rem/año).
- Podrá aceptarse que en un trimestre calendario el personal reciba una dosis de hasta 30 milisievert (3 rem).
- Para el personal femenino en edad de procreación la irradiación estará limitada a 12.5 milisievert (1.25 rem) por trimestre calendario.
- Toda mujer en estado de gravidez deberá comunicarlo, mediante certificación médica, al responsable de la instalación donde realice sus tareas. A partir de este momento y hasta el parto, la dosis total en el feto no deberá ser superior a 2 milisievert (0.2 rem).
- La dosis máxima permisible para los miembros de la población no directamente vinculados a tareas que impliquen exposición ocupacional y que, por razones de proximidad, pudieran incidentalmente resultar irradiados, es de 1 milisievert/año (0.1 rem/año).

Los profesionales de la radiación tienen en estos momentos todas las herramientas como para protegerse de los peligros de la exposición, así como para calmar los temores de los pacientes cuando tienen que someterse a un estudio o a un tratamiento con radiaciones ionizantes. Nuestra responsabilidad ante nosotros mismos, ante nuestro personal y ante nuestros pacientes es respetar las normas de seguridad establecidas, y nuestro desafío es tomar conciencia de los riesgos a los que estamos expuestos y no minimizarlos. Debemos ser capaces de asegurar diariamente en nuestros trabajos que estamos ofreciendo a la población no sólo un servicio de alta calidad médica y diagnóstica, sino también una radioprotección adecuada y verdadera.

Discusión

En la actualidad nos resulta extraño enterarnos de la actitud desaprensiva e inocente con que los primeros científicos abordaron sus trabajos con los rayos "X", así como es estremecedor pensar en las enormes cantidades de radiación que recibían los pacientes o el público mismo con sus diversiones en las ferias. Los rayos "X" sólo evidenciaban efectos

beneficiosos para el diagnóstico y tratamiento, nadie podía imaginar en ese momento que pudieran ser peligrosos o perjudiciales de alguna forma. No se percibe ningún tipo de sensación cuando las radiaciones atraviesan el cuerpo, las lesiones que aparecen en la piel ni siquiera son inmediatas, y no hay forma de sospechar los trastornos que se producen sobre los órganos profundos o sobre la descendencia. Los efectos irreversibles y acumulativos de la radiación se descubrieron paulatinamente, y el precio de ese conocimiento fue el sufrimiento y la muerte de muchas personas.

Los efectos biológicos de una misma dosis de radiación varían de forma considerable según el tipo de exposición. Los efectos que aparecen tras una irradiación rápida se deben a la muerte de las células y pueden hacerse visibles pasadas horas, días o semanas. Una exposición prolongada se tolera mejor y es más fácil de reparar, aunque la dosis radiactiva sea elevada. No obstante, si la cantidad es suficiente para causar trastornos graves, la recuperación será lenta, e incluso imposible. La irradiación en pequeña cantidad, aunque no mate a las células, puede producir alteraciones a largo plazo.

La irradiación de zonas concretas del cuerpo produce daños locales en los tejidos. Se lesionan los vasos sanguíneos de las zonas expuestas alterando las funciones de los órganos. Cantidadas más elevadas desembocan en necrosis y gangrena.

No es probable que una irradiación interna cause trastornos graves, sino más bien algunos fenómenos retardados, que dependerán del órgano en cuestión, de las características de la radiación y del comportamiento bioquímico de la fuente radiactiva. El tejido irradiado puede degenerar o destruirse, e incluso desarrollar un cáncer. Las consecuencias se manifiestan principalmente en la médula ósea, gónadas, riñones, pulmones y el cristalino del ojo, debido al deterioro de los vasos sanguíneos. Como consecuencias secundarias aparecen cambios degenerativos y funciones alteradas. No obstante, el efecto retardado más importante es el aumento estadístico de cáncer y leucemia. En animales de experimentación se ha observado una reducción del tiempo de vida que aún no se ha demostrado en seres humanos.

El conocimiento de los efectos biológicos de las radiaciones produjo una revolución en la comunidad científica similar a la producida por el descubrimiento de los rayos "X". Los radiólogos comprendieron que si no tomaban medidas de precaución se precipitarían al desastre: se reunieron en Comités de Protección para empezar a reglamentar las dosis de exposición, las normas de higiene y seguridad de las instalaciones, los horarios de trabajo, etc.

La radioprotección médica que se practicaba antes de la Segunda Guerra Mundial difiere en dos aspectos básicos respecto a las normas de protección que conocemos hoy. La "protección contra los rayos "X" en esa época se refería primariamente a la protección del operador de las excesivas radiaciones durante los procedimientos médicos y no tenía en cuenta generalmente al paciente. En segundo lugar, las dosis aceptables de aquellos días son excesivas cuando se las compara con los criterios actuales. Más allá del concepto

de dosis aceptable, muchos operadores de rayos "X" así como sus maestros tenían una idea por lo menos confusa de la importancia de la radioprotección: los jóvenes alistados en las Fuerzas Armadas americanas durante la Segunda Guerra Mundial se entrenaban como técnicos radiólogos tomándose placas unos a otros todos los días para practicar.⁸

La explicación de por qué estas dosis relativamente grandes eran consideradas aceptables en las décadas de los 30 y 40 es muy simple: se sabía que los efectos biológicos como el cáncer o la radiodermatitis ocurrían como resultado de altas dosis de radiación (los primeros radiólogos y los pintores de diales con radio habían dado trágicas pruebas de este hecho), pero todavía no se aceptaba ampliamente que la exposición ocupacional a pequeñas dosis fraccionadas por largos períodos de tiempo podía producir efectos retardados.

Es interesante especular sobre por qué la protección del paciente durante las primeras épocas no era considerada como una forma de radioprotección sanitaria. Parte de la respuesta es que los pacientes, que se exponían a los rayos "X" sólo en forma intermitente, recibían mucha menos radiación que los operadores, que trabajaban todos los días con ella; y parte reside en que se suponía que los pacientes obtenían un beneficio directo a consecuencia de la exposición.

Pero desde un punto de vista histórico, es más interesante el aspecto de la respuesta que está relacionado con la actitud prevaleciente de la época y que era que los agentes nocivos, fueran físicos o químicos, producían un daño biológico solamente en dosis que estaban por encima de un determinado "umbral". Por lo tanto, mientras que la exposición profesional a un material peligroso podía conducir a alguna lesión, la pequeña cantidad del mismo material que recibía el público general no debía causar preocupación. El plomo, por ejemplo, era ampliamente conocido como un tóxico en ciertas industrias, pero se usaban pinturas a base de plomo en las casas y oficinas; el mercurio era peligroso en dosis industriales, pero era un componente común de los medicamentos de la piel; y la cumarina, un potente anticoagulante, se usaba en pequeñas cantidades como esencia artificial de vainilla.

Durante la década de los 50 se produjo un profundo cambio en las ideas en las que estaba basada la radioprotección médica, con la apreciación de la posibilidad de que pequeñas dosis de radiación podían producir efectos biológicos a largo plazo. El impulso primario de esta apreciación fue el temor por las consecuencias producidas por las pruebas de armas nucleares en Estados Unidos y la Unión Soviética. Por primera vez en la historia una gran proporción de la población mundial había sido expuesta repetidamente a bajas dosis de una radiación creada por el hombre, y la posibilidad de que esta radiación pudiera producir un daño biológico diseminado emergió como preocupación principal por la salud pública. Varias fundaciones se dedicaron rápidamente a la investigación de los efectos biológicos de las radiaciones ionizantes. Los experimentos "Megamouse" sobre material genético en los Laboratorios Nacionales de Oak Ridge, en los Estados Unidos, aportaron fuertes evidencias de que al menos algunos efectos de la radiación no necesita-

ban "umbral", es decir, que no había una dosis segura. Para la misma época, los primeros estudios en los sobrevivientes de las bombas atómicas de Hiroshima y Nagasaki proveyeron nueva evidencia cuantitativa acerca de los efectos carcinogénicos de las radiaciones. Las historias que describían la contaminación nuclear de la leche y de los alimentos sirvieron para generar y mantener la consternación del público.

Los ciudadanos comunes empezaron a preocuparse por este agente peligroso, imposible de detectar a través de los sentidos, que era capaz de contaminar el ambiente aun en pequeñas cantidades y penetrar en sus cuerpos vía aire, agua o alimentos. La palabra "radioprotección" cobró un nuevo significado, expandiéndose para incluir al público general, además de aquellos que estaban profesionalmente expuestos. Una tendencia social, en este caso el reconocimiento de la contaminación ambiental producida por una diversidad de agentes nocivos, acompañó, y, tal vez ayudó a promover un cambio en la actitud hacia la radioprotección.

La creciente preocupación sobre la contaminación producida por las radiaciones originó un nuevo planteamiento: muchas personas, aún lejos del peligro que representaban las pruebas con armas nucleares, recibían una gran dosis de radiación al someterse a procedimientos diagnósticos; por lo tanto, había que crear programas de control para tratar de minimizar la exposición procedente de estas fuentes también.

El problema de la exposición innecesaria en los procedimientos diagnósticos tiene tres facetas distintas: equipamiento (¿la máquina es capaz de producir imágenes de buena calidad con mínima exposición a las radiaciones para el paciente?), técnica (¿el operador está usando el equipo de manera efectiva para minimizar la exposición?), y criterio clínico (¿el estudio radiológico es útil para el paciente?).

Al principio los programas de radioprotección pusieron el énfasis sobre el equipamiento, verificando que todos los equipos tuvieran al menos filtros y colimadores. Muchos equipos dentales que se usaban en esta época no estaban equipados con colimadores: el haz de rayos "X" era tan ancho que irradiaba toda la cabeza del paciente y hasta la glándula tiroides, además de ir mucho más allá de los bordes de la placa. También fue importante motivar y entrenar a los operadores para irradiar lo menos posible al paciente. En una época en que la mayoría de los equipos tenían pesados colimadores de apertura fija y carecían de luces marcadoras, la inclinación natural del operador era usar la colimación más amplia en todas las circunstancias. Los mensajes que se dieron a los profesionales fueron los siguientes:

- Use una tabla con técnicas predeterminadas en vez de tratar de adivinar los factores de exposición para cada placa.
- Colime para abarcar sólo el área de interés clínico.
- Use filtros apropiados.
- Use protección genital cuando sea necesario.
- Use revelador fresco en un cuarto oscuro hermético.

- Revele las placas de acuerdo con las especificaciones de tiempo y temperatura recomendadas por el fabricante, en lugar de usar el método de “sumergir y mirar”.

Estos primitivos mensajes admonitorios, pasados los años, demostraron ser insuficientes. Con los avances del diagnóstico por imágenes los servicios de salud pública debieron incrementar el nivel educacional de los profesionales de los rayos “X” para asegurar la producción de imágenes de calidad con mínima exposición del paciente. Se publicaron guías técnicas sobre cómo monitorear el funcionamiento de las procesadoras automáticas de películas y cómo evaluar las dosis de radiación de los equipos de tomografía computada.⁸

Hasta los últimos años de la década de los 70, todas las actividades de radioprotección se dirigieron hacia estos dos aspectos del problema: el equipamiento y la técnica de trabajo. Durante muchos años la cuestión del requerimiento de un estudio radiológico había sido un problema que solamente concernía al médico clínico, que debía decidir sin el beneficio de una guía externa y muchas veces sin conocimientos precisos de la utilidad de cada método de diagnóstico.

En 1978 en Estados Unidos el congresista Paul Rogers, durante el transcurso de unas audiencias acerca de la exposición pública a las radiaciones, se preguntó si no sería posible desarrollar criterios consistentes para establecer cuándo ciertos exámenes radiológicos eran realmente necesarios. El resultado fue un gran esfuerzo conjunto entre el gobierno y el Colegio Americano de Radiología para desarrollar y dar a conocer criterios de referencia para procedimientos radiológicos. Estos criterios, formulados por paneles de radiólogos y clínicos de las especialidades apropiadas, fueron un intento de proveer a los médicos de una guía voluntaria para la indicación de exámenes radiológicos. En algunos casos los paneles usaron la literatura publicada para determinar la eficacia de un determinado estudio con respecto a otro, y en otros casos condujeron investigaciones sobre las prácticas comunes para ayudar a establecer un consenso sobre cuándo un estudio era clínicamente necesario y cuándo no. Se señaló que la aplicación de estos criterios era totalmente voluntaria y que en ningún caso podían suplantar el juicio del médico a cargo del paciente. Se publicaron guías sobre la utilización de pelvimetría, radiografía de tórax de *screening*, radiografía de tórax prequirúrgicas, radiografía de cráneo después de un traumatismo y radiografías dentales.

La amplia aceptación de estas guías de criterios fue favorecida por varios problemas inherentes a nuestro tiempo. En primer lugar, los médicos se ven en la obligación de justificar ante los sistemas de salud y las obras sociales los procedimientos diagnósticos o terapéuticos que solicitan, en este contexto, tener criterios de referencia es un enfoque razonable. En segundo lugar, los clínicos tienen una clara conciencia de que la efectividad de un determinado procedimiento tiene que estar avalada por estudios a gran escala, más que por las impresiones obtenidas de la experiencia personal sobre unos pocos pacientes. Finalmente, las crecientes demandas

das a los médicos por mala praxis hacen casi perentorio que se imponga un consenso sobre la necesidad de ciertos estudios radiológicos.

Otra área que se ha abordado en los últimos tiempos es la educación de los pacientes acerca de los riesgos y los beneficios relacionados con las prácticas radiológicas. Un cambio cultural con respecto al cuidado de la salud hace que los pacientes sean consultados para tomar decisiones médicas que van a afectar sus vidas. En esta era ya no alcanza con que el paciente obedezca pasivamente las órdenes del médico: la meta es que entienda qué es lo que se va a hacer con su cuerpo y por qué. Naturalmente, los pacientes tratan de informarse acerca de las complicaciones que pueden aparecer en las prácticas radiológicas o de los peligros de la radiación en determinadas circunstancias, el médico, clínico o radiólogo debe proveerle de información suficiente en forma verbal o escrita, y asegurarse de que la comprenda. Es muy común en la práctica radiológica que el paciente llegue al consultorio sin tener la menor idea de qué es lo que se le va a hacer.

Los pacientes deben ser educados en la práctica de pedir a sus médicos o dentistas información sobre los beneficios de los exámenes radiológicos, solicitar protección genital cuando sea necesario, informar voluntariamente acerca de la posibilidad de un embarazo, y guardar sus radiografías para evitar innecesarias repeticiones de estudios.

Los problemas producidos por el uso de radiaciones son muy amplios, y los recursos económicos que se les pueden asignar son limitados. Solamente un cambio de actitud y un incremento en los niveles de educación tanto de los profesionales como de los pacientes relacionados con estas áreas de la medicina originarán una optimización de los factores de seguridad que podrá absorber casi totalmente los riesgos relacionados con la utilización de radiaciones ionizantes.

Conclusiones

La importancia de los rayos “X” como recurso diagnóstico en medicina fue rápidamente reconocida por los científicos que tuvieron noticia del descubrimiento hecho por Röntgen en 1895. La utilidad de las radiografías se debe al poder de penetración y efecto fotográfico de los rayos “X”, que revelan diferencias mínimas entre los tejidos y muchas enfermedades pueden diagnosticarse con este método. Una vez descubiertos, los rayos “X” pasaron a desempeñar un papel fundamental en los campos de la investigación científica, de la medicina y de la industria. Ni siquiera los peligros inherentes a su utilización, al principio totalmente ignorados, pudieron frenar la rápida evolución o erradicar a estos agentes de sus funciones diagnóstica y terapéutica, a tal punto que aún hoy, más de un siglo después de su descubrimiento, no existe un método más inocuo capaz de reemplazarlos totalmente.

La noción de los graves efectos biológicos de los rayos “X” apareció paulatinamente y los que aprendieron a protegerse lo hicieron a costa de otros, cuya trágica igno-

rancia los llevó muchas veces a graves lesiones o a la muerte.

En 1936, a instancias del Profesor Hans Meyer de Bremen, fue erigido en Hamburgo un monumento a la memoria de los mártires de las radiaciones. Edificado en la vecindad del pabellón Röntgen del Hospital General de San Jorge, este monumento conmemorativo ocupa un emplazamiento elegido en honor del Profesor Albers-Schönberg que trabajó en este hospital hasta 1921, fecha en la que sucumbió, víctima de las radiaciones, después de padecer sus consecuencias durante trece años.

Comporta una columna cuadrangular, sobremontada por una corona de laureles, realización del escultor Laubner de Bremen; al principio reunía una lista de 159 víctimas, censadas por Hans Meyer, cuyo llamado había encontrado eco en todas partes. Por orden alfabético están grabados los nombres de los médicos, físicos, técnicos, empleados de laboratorio y monjas cuyas muertes se produjeron por el manejo profesional de radiaciones, los pioneros que se aplicaron incansablemente a perfeccionar la utilización de los rayos de Röntgen para beneficio de la humanidad.³

“La inauguración tuvo lugar el 4 de abril de 1936, ante una numerosa asistencia. El Profesor Frik, Jefe de Medicina del Instituto Werner-Siemens del Hospital Moabit de Berlín, consagró el monumento, y el Profesor Hegler agradeció, en nombre del Hospital, al Senado de la villa libre de Hamburgo el regalo del emplazamiento. Entre otros discursos, citaremos el del Profesor Holzmann de Hamburgo, que habló en nombre del Dr. Wagner, Führer de Médicos del Reich, después de haber depositado al pie del monumento una corona de laureles, atada con los colores del Nuevo Reich”. (Extracto del informe rendido por el Dr. Rohrs de Hamburgo. *Journal de Radiologie*, Tomo 20, N° 6, junio de 1936).

En la cara anterior del monumento se lee la siguiente inscripción:

“A los radiólogos de todas las naciones: médicos, físicos, químicos, técnicos, laboratoristas y enfermeras que han ofrendado sus vidas en la lucha contra las enfermedades de la humanidad. Ellos han preparado heroicamente el camino hacia una utilización eficaz y desprovista de riesgos de los rayos ‘X’ y del radio. Las obras de los muertos son inmortales”.

Después de la inauguración, el monumento ha sido completado, y la estela inicial rodeada por otras cuatro más pequeñas donde están grabados los nombres de las víctimas muertas en los años siguientes, principalmente por cancerización tardía de las lesiones o por leucemia. A fines de diciembre de 1988, en el monumento de Hamburgo había inscritos 377 nombres.

Referencias

1. Francisco Gálvez Galán. *La mano de Bertha. Otra historia de la Radiología*. España: Justesa Imagen S.A.; 1995.
2. Feldman A. A sketch of the technical history of radiology from 1896 to 1920. *Radiographics* 1989; 9(6): 1113-28 (Monograph).
3. Pallardy G, Pallardy MJ, Wackenheim A. *Historia ilustrada de la radiología*. Capítulo IX. París: Les Editions Roger Dacosta; octubre de 1989, p. 495-529.
4. Katheren R, Ziemer P. The first fifty years of radiation protection. A brief sketch. Form modified for WWW publication.
5. Krohmer J. *Radiography and fluoroscopy, 1920 to the present*. *Radiographics* 1989; 9(6): 1129-53 (Monograph).
6. Brodsky A, Katheren R. Historical development of radiation safety practices in radiology. *Radiographics* 1989; 9(6): 1267-75 (Monograph).
7. Normas relativas a la instalación y funcionamiento de equipos generadores de rayos X. Publicación del Ministerio de Salud y Acción Social. Buenos Aires, 1995.
8. Barnett M. The evolution of Federal X-Ray Protection Programs. *Radiographics* 1989; 9(6): 1277-82 (Monograph).
9. Katheren R, Ziemer P. Chronology of the First Half Century of Radiation Protection. Form edited for WWW publication.