

El discernimiento en la protección contra las radiaciones

por Lauriston S. Taylor

LAS RADIACIONES IONIZANTES COMO AGENTE TOXICO

Las radiaciones ionizantes son un fenómeno que la humanidad conoce desde hace casi 85 años y solo hace algunas semanas menos que se sabe que, si alguien se expone lo suficiente a las radiaciones ionizantes, puede sufrir una lesión de naturaleza evidente y definible. Lo que se ignora es si existe un límite inferior de la exposición por debajo del cual el hombre no sufrirá ninguna lesión y por encima del cual sí la sufrirá. Esta situación no tiene nada de particular, salvo en un aspecto: a diferencia de lo que sucede con la mayoría de los demás agentes posiblemente perjudiciales, las radiaciones ionizantes (que en adelante llamaremos radiaciones) siempre han formado parte de nuestro medio ambiente natural. Pero si bien se sabe que forman parte del medio ambiente, no hay manera conocida de eliminar por completo su presencia o tan siquiera modificarla o contrarrestarla de manera significativa. El ser humano siempre ha vivido en un ambiente algo hostil. Pero la gran diferencia que existe entre la humanidad y otras formas de vida animal es que casi siempre el hombre ha aprendido a tolerar, controlar, modificar y, en ciertos casos, a eliminar los riesgos ambientales.

A todos los fines prácticos, la radiación no es sino un agente tóxico o contaminante más. En el fondo, no es en realidad muy diferente de otros muchos agentes tóxicos en lo que se refiere a sus efectos o a la forma de evitarla o controlarla. Sin embargo, el tratamiento y control de la radiación como agente tóxico, se conocen mucho mejor y se aplican y más rigurosamente que en el caso de los agentes químicos o biológicos, e importa que nos demos cuenta de este hecho.

Se dice que la radiación posee un aspecto insidioso por cuanto no se puede detectar con la vista, el gusto, el tacto o el olfato. Ahora bien, lo mismo sucede con muchos otros agentes tóxicos con los que, para bien o para mal, tenemos que vivir. La radiación puede producir cáncer y causar efectos genéticos perjudiciales, y pueden existir largos períodos de latencia entre la exposición y la manifestación de los efectos. Tampoco hay nada de particular en esto; así obran también muchos productos químicos y condiciones ambientales.

En cambio, a diferencia de muchos agentes tóxicos igualmente peligrosos, la radiación se puede medir y controlar fácilmente incluso a niveles miles de veces menores que los que jamás se pudiese considerar que entrañan algún peligro.

El Dr. Taylor ha sido presidente del Consejo Nacional de Protección y Medidas Radiológicas de los Estados Unidos.

Esto no significa despreciar el riesgo potencial resultante del uso de las radiaciones, ni la necesidad de protegerse contra las mismas; lo que se pretende es situar el problema de la radiación en una cierta perspectiva de comparación razonable y aceptación frente a muchos otros riesgos derivados de agentes que aceptamos como esenciales para nuestra forma de vida. Y es aquí donde se plantea el verdadero problema. ¿Cómo decidir en qué consiste una comparación razonable y quién lo decide? Las respuestas a estas dos cuestiones no están totalmente claras y no se vislumbra el día en que lo estarán a satisfacción de todo el mundo.

EL JUICIO DE VALOR EN EL ESTABLECIMIENTO DE NORMAS DE PROTECCION

Dado que es imposible establecer por experimentación un límite superior de exposición seguro al 100%, toda solución del problema de protección radiológica supone una combinación de ciencia y tecnología, por una parte, y de *juicios de valor* de carácter moral, social, económico y político, por otra (Ref. [1]). De esto se tenía clara conciencia ya a principios de la década de 1920, cuando se trató por primera vez de establecer una dosis de radiación que fuera aceptable en términos de efectos biológicos.

Para hacer ver el problema, será útil remontarse al origen de nuestras normas de protección radiológica y comprobar cómo nuestras normas actuales se derivan de aquellos conceptos primitivos. Aunque esto nos lleva más de 50 años atrás, no fue sino en 1949 cuando la primera declaración precisa que describía una exposición profesional admisible (Ref. [2])* fue formulada por el Comité Nacional de Protección Radiológica de los Estados Unidos (NCRP)**, declaración que adoptó un año más tarde, con algunas mejoras de redacción, la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) (Ref. [3]). La declaración del NCRP decía lo siguiente: "Se puede, pues, definir la dosis admisible como la dosis de irradiación ionizante que, a la luz de los conocimientos actuales, no sea de prever que cause una lesión corporal apreciable a una persona en ningún momento de su vida. Tal y como se emplea aquí, 'lesión corporal apreciable' significa toda lesión o efecto corporal que una persona considere por término medio inaceptable o que las autoridades competentes consideren perjudicial para la salud y el bienestar del individuo." *Esta declaración se centra en cuestiones de juicio o discernimiento.* El problema, todavía por resolver, es cómo definir qué es admisible o aceptable o apreciable.

ORIGEN DE LAS NORMAS DE PROTECCION RADIOLOGICA

Durante muchos años, hasta 1930 más o menos, una dosis clínica de radiación se expresaba en forma de lo que se solía denominar una unidad biológica. Se llamaba la "dosis umbral eritema" (DUE). Se trataba de la dosis única de rayos X que, por la experimentación y la experiencia clínica, se sabía que era necesaria para causar un eritema (enrojecimiento de la piel) y se definía especificando particularidades operativas tales como el tamaño del campo de rayos X, la corriente del tubo, la tensión del tubo, la distancia entre el tubo y el paciente y el tiempo de aparición del enrojecimiento. Otras dosis se definían en forma de fracciones o de múltiplos de la dosis eritema. Ahora bien, a causa de los numerosos factores biológicos que intervienen en una reacción cutánea, esta evaluación de la dosis de rayos X estaba sujeta a desviaciones de hasta 200 o 300 por ciento, según los diferentes observadores. Frecuentemente, el mismo observador podía repetir sus resultados con desviaciones del 50% o incluso del 25%.

En 1925, Mutscheller, en los Estados Unidos de América (Ref. [4]), usando datos perfeccionados sobre la absorción de rayos X por paredes y barreras, hizo cálculos de la

* Véase el prefacio, página v de la referencia [2] y página iii de la referencia [13].

** Llamado ahora Consejo Nacional de Protección y Medidas Radiológicas.

dosis fraccionada DUE para la posiciones del personal operador en una serie de clínicas terapéuticas y de diagnóstico que en aquella época se consideraban bien diseñadas y blindadas. Al mismo tiempo, observó que las personas que trabajaban en esas zonas no mostraban efectos adversos después de haber estado expuestas a niveles que, según los cálculos eran del orden de una DUE distribuida a lo largo de un año. Sobre esta base, recomendó una "dosis de tolerancia" de 1/100 de una DUE mes (aproximadamente 1/10 de DUE año) como nivel "seguro" para el personal expuesto profesionalmente a las radiaciones. Un punto importante que conviene señalar es que Mutscheller basaba su recomendación en la falta de efectos observados; aplicaba su *facultad de juicio* según la cual, si 1 DUE/año no causaba "ningún efecto", 1/10 DUE/año debería ser ciertamente tolerable. Este fue el primero de muchos ejemplos de aplicación de la facultad de juicio o discernimiento ante la falta de información, y siguió el principio general adoptado en toxicología.

De manera independiente, el Dr. Sievert realizó un estudio similar en Suecia, comparando la exposición a las radiaciones en un cierto número de clínicas bien blindadas, con la exposición a la radiación de fondo natural (Ref. [5]). Este investigador estimó que, sin tener en cuenta las posibilidades de recuperación, se necesitaría entre 1000 y 10 000 años de exposición para recibir una dosis eritema causada por la radiación de fondo natural. Partiendo de la cifra más baja, emitió el *juicio técnico* de que 1/10 de la dosis eritema al año sería aceptable para los trabajadores expuestos a las radiaciones.

Otro estudio, efectuado independientemente, aunque un año o dos más tarde, fue obra de Barclay y Cox en el Reino Unido (Ref. [6]) y su tema fue también la estimación de dosis en condiciones típicas de trabajo. Estos autores encontraron a dos personas cuya exposición en un período de seis años, estimaron que podían evaluar, con un margen de inseguridad menor que el de todas las demás mediciones. Sus resultados, si bien expresados en una forma algo diferente que los de sus dos predecesores, podían transformarse en dosis eritemas y, cosa interesante, se *juzgó* que eran del orden de 1/10 de la dosis eritema al año (para discusiones más detalladas véase la Ref. [19]).

Naturalmente, la tentación sería muy grande, a la vista de esta información, de pensar que tres experimentos realizados independientemente en tres países diferentes, y que llegan todos a la misma conclusión aparente, dan fiabilidad a la significación absoluta del resultado final. Ahora bien, el *puro juicio o discernimiento fue* el único factor común a los tres estudios que contribuyó a que llegasen al mismo resultado.

NORMAS CUANTITATIVAS DE PROTECCION RADIOLOGICA

El problema de encontrar un valor mensurable de la dosis de tolerancia resultaba todavía más complicado en aquel tiempo por la falta de un sistema convenido de magnitudes y unidades para la medición de la radiación ionizante. Muy poco antes, un cierto número de observadores había tratado en varias oportunidades de evaluar la dosis eritema en forma de "roentgens" (término que comprendía de distinto modo las diferentes personas). En 1925, Meyer y Glasser, en Estados Unidos de América, llegaron a la conclusión de que aproximadamente 1300 roentgens (con retrodispersión) era la cantidad de radiación necesaria para causar un eritema umbral (Ref. [7]). En 1927, Kustner, en Alemania, tras enviar un minucioso cuestionario a unos doce de los mejores institutos radiológicos, concluyó que el valor de la dosis eritema era aproximadamente de 550 roentgens cuando las mediciones se hacía en aire (sin retrodispersión) (Ref. [8]). Ambos observadores señalaron las numerosas variables que intervenían en sus determinaciones.

Los valores comunicados a Kustner oscilaban entre 400 roentgens, como límite inferior, y 650 roentgens, como límite superior, y un observador señaló una serie de observaciones en el intervalo de 450–625 roentgens. Es evidente que el resultado global no fue un

prodigio de exactitud, pero el valor hallado por Kustner, 550 roentgens medidos en aire, recibió, como fruto que era de un *juicio*, aceptación general.

La primera dosis de tolerancia diaria, expresada en roentgens, fue propuesta por el NCRP a principios de 1934. Estaba basada en el valor sugerido por Mutscheller de 1/10 de la dosis eritema al año (Ref. [9]). El valor dado por Kustner de 550 roentgens (medidos en aire) fue redondeado a 600 roentgens, se consideró que el número de días laborables anuales era de 250 y sobre esta base se calculó un valor de 0,24 roentgens/día. Pero como cualquier número de esta naturaleza parecía tener una significación desproporcionada al valor de los datos básicos, y dado que los errores de los datos básicos eran tan grandes, se redondeó este valor a 0,1 roentgen/día (en aire).

Unos seis meses más tarde la CIPR, tras una serie de operaciones similares, llegó a un valor de 0,25 roentgens/día, cifra que fue redondeada a 0,2 roentgens/día (Ref. [10]).

Es importante observar que se había obtenido, por primera vez, lo que parecía ser un valor cuantitativo de la dosis de radiación admisible para los trabajadores expuestos profesionalmente. Cabe señalar también que todos los valores de la dosis admisible para esta clase de trabajadores, hasta la fecha, se han deducido, de una manera o de otra, de las propuestas formuladas en 1934.

Pero esto no es tan grave como parece ya que, desde que se propusieron en 1934 las primeras normas cuantitativas, no se han observado lesiones ni efectos específicos en el gran número de personas que podrían haber estado expuestas a tales niveles de radiación*. A juzgar por lo que hoy se sabe realmente, es posible que nos dispensemos una protección verdaderamente exagerada, lo que supone enormes costes o el sacrificio de importantes beneficios para la humanidad. No es probable que nuestra protección sea seriamente insuficiente. Por tanto, para comprender la situación es fundamental darse cuenta de que la transición de aquellos primitivos antecedentes a nuestro sistema actual de normas cuantitativas se ha hecho *ejerciendo la facultad de juicio o discernimiento*, juicio que probablemente era el más fundado que existía en la materia.

La primera norma de protección para los emisores internos (el radio) se propuso en 1941. Sobre la base de las muy limitadas pruebas existentes entonces, el NCRP recomendó que las personas que trabajasen expuestas al radio no pudiesen acumular una carga corporal de más de 1/10 de microgramo de radio (Ref. [11]). La validez de esta recomendación no pudo ser juzgada de manera convincente sino algunos años más tarde, gracias a los trabajos de Evans (Ref. [12]) y otros investigadores que, efectivamente, no hallaron casos de radiación identificable en los individuos que tenían una carga corporal inferior a 1/10 de microgramo de radio. Resulta que una carga corporal de 1/10 de microgramo de radio se traduce en una dosis en el tejido óseo del orden de 25 rem/año.

El avance siguiente más importante se produjo en 1949, cuando el NCRP reconsideró en su totalidad el problema de la exposición a las radiaciones, a causa de los enormes cambios que se esperaban como resultado del desarrollo de la energía atómica. Principalmente porque se suponía que un número muy superior de personas se encontrarían expuestas de modos muy diversos a muy diferentes tipos de radiaciones, el NCRP recomendó que la dosis admisible para los trabajadores expuestos profesionalmente se redujera de 0,1 roentgen/día a 0,3 rem/semana, o sea, aproximadamente a la mitad (Refs. [9], [13]).

Hay que señalar que este cambio de la dosis admisible se hizo sin que se observara ni un solo caso de lesión en las personas expuestas a los niveles anteriores, que podían haberse

* Se hace esta afirmación teniendo presente el escepticismo general con que se han recibido los estudios globales de Mancuso-Stewart.

elevado a 0,1 o 0,2 roentgens diarios. La definición básica del NCRP para la dosis permisible es la citada en la Ref. [2].

La situación evolucionó y hubo nuevas reducciones del nivel de dosis admisible para los trabajadores expuestos profesionalmente, hasta el punto de que incluso de cometerse en la industria alguna pequeña infracción de los límites de exposición, se creyó que los efectos posibles serían insignificantes. Una vez más, se trataba de cuestiones de *juicio* en las que no había ningún fundamento científico o médico concreto.

Esto plantea otra cuestión todavía mal entendida por el público y también por las comunidades técnicas. Cualquiera que sean los niveles de exposición fijados por los órganos reglamentadores, la industria, en la práctica, fija a sus niveles administrativos admisibles valores bastante inferiores, para no correr el riesgo de exceder el "nivel oficial". Esta práctica ha dado lugar a una curiosa situación de reducciones inexorables, cada vez, y por cualquier razón, que se manifiesta cierta presión para reducir los niveles de exposición, se puede demostrar habitualmente "que ello no supondría ningún sacrificio para la industria porque ya tiene establecidos niveles de exposición más bajos".

La siguiente etapa importante se franqueó en 1956 cuando, ante la preocupación por los efectos posibles de las precipitaciones radiactivas mundiales resultantes de las pruebas de armas atómicas, primero el Consejo Británico de Investigaciones Médicas (Ref. [14]) y luego la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos (Ref. [15]) llamaron de nuevo la atención sobre los posibles efectos genéticos de las radiaciones. Seguidamente la Comisión Internacional de Protección contra las Radiaciones (CIPR) (Ref. [16]) y el Comité Nacional de Protección Radiológica (Refs. [17], [18]) recomendaron reducir a 5 rem/año la dosis admisible en las gónadas de los trabajadores expuestos profesionalmente.

Tampoco en este caso, se habían observado directamente daños genéticos o somáticos para bajos niveles de exposición en los mamíferos usados en los laboratorios ni en la población humana. La recomendación original de la Academia Nacional de Ciencias en 1956 se había basado principalmente en ciertos experimentos primitivos con moscas de la fruta, que mostraron ciertas alteraciones genéticas tras su exposición a altas dosis de radiación (Ref. [15]). En parte, pareció que esta recomendación constituía una reacción excesiva al clamor público por las precipitaciones radiactivas. Al cabo de cinco años, experimentos más fidedignos realizados con animales vinieron a impugnar el fundamento de la recomendación de la Academia. Pero entonces ya era demasiado tarde para pensar en volver a las normas de antes de 1956 y la recomendación sigue vigente en el día de hoy. Prescindiendo de las consideraciones técnicas, es muy difícil desde el punto de vista político atenuar una norma protectora de casi cualquier tipo.

Hay que recalcar que el peligro contra el cual estas refinadas precauciones tratan de protegernos es puramente hipotético a los niveles bajos de exposición prevalecientes en la actualidad. Además, no se debe olvidar que las cifras utilizadas hasta ahora se derivan directamente de la dosis eritema con sus factores de incertidumbre, y de las contradictorias técnicas de medición de los años veinte.

EXPOSICION DE POBLACIONES

Hubo una etapa más en el desarrollo de las normas de protección contra las radiaciones. A fines de los años cincuenta se manifestó una creciente preocupación pública por los peligros de las radiaciones y se pidió con insistencia la reducción de la exposición, especialmente en el caso de la población en general. Cabe señalar que, mientras la exposición admisible para los individuos expuestos profesionalmente era de 5 rem/año, principalmente por razones genéticas, el límite de dosis correspondiente para un individuo de la población era 1/10 de ese valor, o sea 0,5 rem/año (Refs. [16], [17], [18]).

A fines de los años cincuenta se había acumulado una cantidad creciente de datos bio-médicos sobre los efectos de la exposición en gran escala a las radiaciones. Gran parte de esta información provenía del estudio de las experiencias de los supervivientes japoneses y de los efectos diferidos de la radioterapia. Esta información tenía validez para dosis y tasas de dosis elevadas, en cuyos casos se observó que parecía existir una relación de proporcionalidad entre la magnitud de las exposiciones y sus efectos.

La situación es muy diferente en lo que se refiere a los efectos comprobados de las dosis en la región inferior, por ejemplo, de 5 rad. Se puede resumir muy fácilmente el estado actual de nuestros conocimientos: a pesar de los muchos millones de dólares gastados en estudios experimentales en todo el mundo, y pese a las múltiples tentativas realizadas al nivel clínico, nadie ha podido establecer todavía una relación dosis-efecto para el ser humano en esa región de dosis bajas. Al contrario, existe una enorme cantidad de información en forma de resultados negativos, basados en dosis recibidas por trabajadores expuestos profesionalmente y algunas otras personas, a niveles de hasta 1 o 2 rad por año, y, en otros casos menos frecuentes, a niveles de 5, 10 y hasta 15 rad per año. La experiencia acumulada en este aspecto, que engloba grupos muy grandes de personas, es inmensa y se debe reconocer su considerable peso, aunque los resultados sean negativos. Al mismo tiempo debemos estar dispuestos a responder al argumento de que la razón por la cual no se puede encontrar ningún efecto directo o indirecto es que estos efectos son demasiado pequeños u ocurren con poca frecuencia. Es decir que los efectos son enmascarados por el "ruido de fondo" de los casos naturales.

Bien puede ser así, pero evidentemente ello es también una parte de la respuesta. Si los efectos no se pueden detectar por ninguno de los métodos tan perfeccionados con que contamos hoy día, esto significa automáticamente que el peligro, si es que existe, es sumamente pequeño. Así pues, hay tiempo más que suficiente para estudiar y analizar el problema sin por ello hacer correr un riesgo serio a un número apreciable de personas.

Pero lo que constituye nuestro dilema es precisamente esta imposibilidad de detectar todo efecto nocivo en los seres humanos, acompañada de cierta vacilación en afirmar que no existe ningún efecto en absoluto. ¿Cómo demostrar empíricamente algo que es negativo? Esto es lo que no se acaba de comprender no solo por el público en general, sino también por muchos otros a los que tal vez incumba la protección de nuestra salud y seguridad. Actualmente, para solventar esta cuestión, hay que recurrir forzosamente en gran medida al *juicio o discernimiento*.

LA RELACION PROPORCIONAL DOSIS-EFECTO

La CIPR y el NCRP estudian desde hace mucho tiempo la posibilidad de que las pequeñas dosis de radiación, emitidas a una tasa baja, produzcan efectos somáticos en la población. Naturalmente, para este trabajo no han dispuesto de datos, clínicos o de animales de laboratorio, de interés director porque tales datos no existen (Ref. [19]). Por tanto, han *establecido la teoría* de que si, a dosis y tasas de dosis elevadas el efecto parece ser proporcional a la dosis, se puede extender la misma relación hasta la dosis cero. Si tal relación fuera aplicable por inferencia a los efectos de dosis pequeñas, deberíamos aceptar el postulado de que para cualquier dosis, por pequeña que sea, debe existir un efecto, por pequeño que sea. Asimismo entonces sería puramente una *cuestión de juicio* el establecimiento de normas sobre dosis admisibles. Esta es precisamente la situación a que hemos llegado en los tres últimos decenios.

Al establecerse el modelo lineal, sin umbral en la relación dosis-efecto, hubo muchas reservas y explicaciones. Pero, si dicha relación se acepta como un hecho y no como una hipótesis o modelo, se puede calcular lógicamente el número de muertos que producirá

cualquier nivel escogido de exposición a las radiaciones. A pesar de que la aceptación de determinadas hipótesis no demuestra la realidad de tales cálculos, ciertas personas continúan haciéndolos y contribuyen de esa manera a desorientar al público y probablemente, a sí mismas. Esto supone una pesada carga para los pocos grupos o individuos bien informados que tratan de definir una especie de línea divisoria, por vaga que sea, entre la sensatez y la insensatez en la puesta en práctica de las teorías de protección. *Facultad de juicio.*

SUPUESTOS QUE IMPLICA LA RELACION PROPORCIONAL DOSIS-EFECTO

Esta es la situación que ha conducido a nuestros diversos órganos encargados de la protección a adoptar — como base a efectos de discusión y para guardar el sentido de las proporciones — las posiciones más cautelosas:

1. Se supone que existe una relación lineal dosis-efecto para todos los efectos de las radiaciones resultantes de cualquier dosis comprendida entre varios centenares de rad y cero.
2. Se supone que la dosis de radiación no tiene un umbral por encima del cual se manifiesta un efecto y por debajo, no.
3. Se supone que todas las dosis administradas a un órgano se pueden sumar íntegramente, sin tener en cuenta la tasa ni los intervalos a que se administren.
4. Se supone que no hay ninguna posibilidad de recuperación, sean cualesquiera los efectos de las dosis pequeñas de radiación.

Es sabido que ninguno de estos supuestos es rigurosamente correcto. La magnitud de la desviación con respecto a los mismos se conoce en algunos casos limitados. Una de las actividades de investigación más importantes que nos esperan es tratar de evaluar de algún modo la índole y la amplitud de tales desviaciones. La cuestión no es si existen desviaciones, sino la magnitud de las mismas.

Las dificultades que encierra el responder a esta cuestión hacen tal vez la discrepancia inevitable. Por ello es más lamentable que como resultado de argumentos aducidos recientemente se haya sembrado una confusión innecesaria. Algunos de estos argumentos son poco menos que inútiles por varias razones: dan por sentado que los supuestos y modelos son realidad, lo cual conduce a conclusiones dudosas o erróneas; desconocen datos de interés, parten de premisas o teorías que no se pueden verificar y que por lo tanto no se pueden demostrar ni refutar. Esta situación no facilita la tarea de emitir juicios (lo que *hay que* hacer en cualquier caso) y puede conducir a un clima de escepticismo y desconfianza.

EL JUICIO DE VALOR SIGUE SIENDO NECESARIO

Solo se han esbozado unos pocos de los grupos de problemas que nos planteen las aplicaciones de las radiaciones en la medicina y en la industria. Son problemas cuyo número ha de crecer ciertamente y sus soluciones se basarán en parte en los descubrimientos técnicos sobre los efectos de las radiaciones en el hombre a las bajas dosis y tasas de dosis consideradas. Pero, hasta donde podemos prever, se basarán todavía más en el *juicio* y en la sensatez de la gente. Dependerán de las actitudes morales ante la posible lesión del trabajador, por una parte, y ante la seguridad demostrable y la "mejor vida" de otras personas, por otra. Dichas soluciones requerirán importantes decisiones de naturaleza económica, y también muy a menudo importantes decisiones de carácter político.

Referencias

- [1] Taylor, L.S., The Philosophy Underlying Radiation Protection, *Am. J. Roent. Ra. Ther. and Nuc. Med.* **77**, 914 (1957).
- [2] National Council on Radiation Protection and Measurements. Permissible Dose from External Source of Ionizing Radiation, NCRP Report No. 17 (NBS-HB-59) (1954).
- [3] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Revised – December 1, 1954), *British J. Radiol. Supplement No. 6*, British Institute of Radiology, Londres, (1955).
- [4] Mutscheller, A., Physical standards of protection against roentgen ray dangers, *Amer. J. Roentgen*, **13**, 65 (1925).
- [5] Sievert, R., Einige Untersuchungen über Vorrichtungen zum Schutz gegen Roentgenstrahlen, *Acta Radiol.* **4**, 61, (1925).
- [6] Barclay, A.E. and Cox, S., Radiation Risks of the Roentgenologist. *Amer. J. Roentgen*, **19**, 551, (1928).
- [7] Meyer, Wm. and Glasser, O., Erythema Doses in Absolute Units, *Radiology*, Abril (1926).
- [8] Kustner, H., Wieviel R.-Einheiten entspricht die HED, *Strahlenther.* **26**, 120 (1927).
- [9] National Council on Radiation Protection and Measurements, Radium Protection, NCRP Report No. 2 (NBS-HB-18) (1935).
- [10] International Recommendations for X-ray and Radium Protection (1934). *Radiology* **23**, 682, (1934).
- [11] National Council on Radiation Protection and Measurements, Safe Handling of Radioactive Luminous Compounds, NCRP Report No. 5 (NBS-HB-27) (1941).
- [12] Evans, R.D., A.T. Keane and M.M. Shanahan. Radiogenic Effects in Man of Long-term Alpha-Irradiation, págs. 431–468 in **Radiobiology of Plutonium**, Editada por Betsy Stover y W.S.S. Jee, JWW Press, Dept. of Anatomy, University of Utah (1972).
- [13] National Council on Radiation Protection and Measurements, Medical X-Ray Protection up to Two Million Volts, NCRP Report No. 6 (NBS-HB-41) (1949).
- [14] Medical Research Council, The Hazards to Man of Nuclear and Allied Radiations, Cmd 9780, H.M.S. Office (1956).
- [15] National Academy of Sciences – National Research Council, The Biological Effects of Atomic Radiation – Summary Reports (1956).
- [16] Recommendations of the International Commission on Radiological Protection (Adopted September 9, 1958), ICRP Pub. 1, Pergamon Press, Londres (1959).
- [17] Maximum Permissible Radiation Exposure to Man – A Preliminary Statement of the National Committee on Radiation Protection and Measurements (8 de enero de 1957), *Amer. J. Roentgen*, **77**, 910 (1957) and *Radiology*, **68**, 260 (1957).
- [18] Maximum Permissible Radiation Exposures to Man (15 de abril de 1958), Addendum to NCRP Report No. 17, *Radiology*, **71**, 263 (1958).
- [19] Taylor, L.S., Organization for Radiation Protection, The Operations of the ICRP and NCRP, 1928–1974 (En prensa).