

Estudio de las normas fundamentales de protección. Bases que nos permiten establecerlas. Valores y aplicaciones

Dres. R. ABAD y M. P. OLIVARES

RESUMEN

Debido a la multiplicación de las fuentes de irradiación empleadas actualmente en los diversos campos, tanto de la medicina como de la industria, en el artículo presente se exponen los conceptos básicos respecto a las normas fundamentales de protección contra las radiaciones ionizantes, normas fundamentales y forma de aplicación. No se trata de una exposición exhaustiva, sino de una breve exposición de las normas vigentes de protección dadas por los organismos oficiales, vistas desde el ángulo particular de la experiencia de los autores.

En una primera parte se hace una exposición de los factores radiobiológicos, en los que se estudia la dosis absorbida por irradiación natural, un comentario sobre los datos de la experimentación animal, como asimismo de los obtenidos a través de la irradiación de seres humanos. A continuación, se hace la clasificación de los distintos tipos de población y trabajadores, seguido de un estudio de las dosis de irradiación permisibles en cada uno de los casos.

RESUME

Par suite de la multiplication des sources d'irradiation employées actuellement dans les différents domaines, tant de la médecine que de l'industrie, dans cet article l'auteur présente les conceptions de base concernant les normes fondamentales de protection contre les radiations ionisantes, les normes fondamentales et leur application. Il ne s'agit pas d'un exposé exhaustif mais d'une brève étude des normes de protection en vigueur établies par les Organismes Officiels et vues depuis l'angle particulier de l'expérience des auteurs.

La première partie comprend un exposé des facteurs radiobiologiques. L'auteur y étudie la dose absorbée par irradiation naturelle et fait un commentaire sur les données de l'expérimentation animale ainsi que sur celles qui ont été obtenues en ce qui concerne l'irradiation des êtres humains. Ensuite, il établit une classification des différents types de population et de travailleurs et expose une étude des doses d'irradiation permises dans chaque cas.

SUMMARY

Due to the multiplication of the irradiation sources used actually in various fields, both medicine and industry, the basic concepts are expounded in this paper in respect of the fundamental patterns of protection against ionizing radiations, fundamental patterns and form of application. It is not an exhaustive exposition, but a brief exposition of the protection patterns in force given forth by the Official Agencies, seen from the private angle of the authors' experience.

In a first part, an exposition of the radiobiological factors is made, where the dose absorbed by natural irradiation is studied, a comment is made on animal experimentation data as well as on those obtained through irradiation of human beings. Then a classification is made of the various types of population and workers, followed by a study of irradiation doses permissible in every case.

ZUSAMMENFASSUNG

Infolge der Vermehrung von den zur Zeit auf verschiedenen Gebieten, sowohl in der Medizin wie in der Industrie benutzten Strahlungsquellen werden im vorliegenden Artikel die Grundbegriffe über Schutzvorschriften gegen ionisierende Strahlen, Schutzmassnahmen und Anweisungen dargelegt. Es

handelt sich nicht um eine exhaustive Beschreibung, sondern um eine kurze Beschreibung gültiger, aus den amtlichen Behörden stammenden Schutzvorschriften. Diese sind vom eigenen Gesichtspunkt der Erfahrungen vom Verfasser aus betrachtet.

Im ersten Teil werden radiobiologische Faktoren beschrieben, bei denen man die durch natürliche Strahlung absorbierte Dosis studiert; Ergebnisse aus Tierexperiment sowie die durch Bestrahlung menschlicher Wesen gefundenen Resultate werden besprochen. Anschliessend klassifiziert man die verschiedenen Bevölkerungs-, bzw. Arbeitertypen. Im folgenden werden die höchstzulässige Strahlungs-dosis bei all diesen Fällen studiert.

К Р А Т К И Й О В З О Р

Ввиду увеличения разнообразия источников излучения, применяемых в настоящее время в различных областях как медицины, так и промышленности, в данной статье излагаются основные принципы в отношении важнейших норм защиты против ионизирующих излучений и предельные нормы и форма применения. Это не перегруженное перечисление, а лишь краткое изложение действующих норм защиты, установленных официальными организациями, и комментируемых авторами с точки зрения их личного опыта.

Первая часть посвящена изложению радиобиологических факторов, представляющих интерес для изучения дозы, полученной в результате естественного излучения, и комментарий о данных опытов над животными, а также полученных в результате облучения людей. Затем дается классификация различных типов населения и работников, с последующим рассмотрением предельно допустимых доз облучения для каждого отдельного случая.

INTRODUCCION

La búsqueda y desarrollo de nuevas fuentes de energía ha hecho que las radiaciones ionizantes hayan pasado de ser conocimiento de un grupo restringido de intelectuales—como sucedía a principios de siglo—a ser materia universal con una utilización que abarca desde los campos de la industria, en sus más variadas facetas, hasta la medicina. Como consecuencia de este desarrollo la masa de población que se encuentra en contacto con las radiaciones ionizantes se hace de día en día mayor. Hace cuatro años predecía *Langendorf* que en Alemania, dentro de diez años, dos habitantes de cada 100 entrarían, bien fuera de una manera o de otra, en contacto con sustancias radioactivas, lo que dicho de otro modo hace que para una población de 24 millones de habitantes casi medio millón se encontraran

expuestos a los riesgos de las radiaciones ionizantes, en mayor o menor intensidad.

Aparte de esto, el creciente uso de sustancias radioactivas lleva consigo también un mayor acúmulo de residuos, los que también son fuente de irradiación. Cuando la Gran Bretaña llegue con sus centrales electrónicas a producir diez millones de kilovatios tendrá una cantidad de residuos equivalentes a las 20 toneladas de radium por año, lo que evidentemente significa un problema.

Esto fuerza que siendo las radiaciones ionizantes producidas tanto por isótopos radioactivos como por otras fuentes, instrumentos de trabajo tan útiles como peligrosos se tenga necesidad de establecer un cuerpo de doctrina en el que se base debidamente la protección contra las mismas, de tal manera que por su categoría científica podemos decir que por primera vez en la

historia se han sentado las bases de protección de una fuente de energía antes que hayan sucedido los accidentes.

No solamente ha sido el uso creciente de las radiaciones ionizantes el que ha hecho que aumente el riesgo frente a las mismas, sino también su calidad. En principio las radiaciones ionizantes eran producidas por tubos de rayos X de pequeña energía y también por isótopos radioactivos naturales como el radio; a partir de la obtención de los isótopos radioactivos artificiales y la invención de máquinas productoras de super-voltajes, estas energías han ido creciendo de manera espectacular, aumentando de esta forma los riesgos frente a la irradiación.

Por último, una de sus formas de utilización, la bélica, ha hecho que cada vez sea más necesario un control de las radiaciones ionizantes, y por ende el de una protección, ya que las contaminaciones de la atmósfera y las aguas, y de los biociclos más importantes, pone en un severo compromiso a las otras dos fuentes de irradiación, la de origen médico y la industrial, para poder guardar un freno en la irradiación de la población precisamente escatimado en estas dos últimas.

Las bases fundamentales en que se apoya este cuerpo de doctrina que constituye la protección está basado, por un lado, en los datos obtenidos en los estudios de radiobiología y, en segundo lugar, en los conocimientos de la física nuclear, es decir, la radiofísica, en sus aspectos más fundamentales de calidad de la radiación, dosimetría y de protección.

Así, pues, al estudiar las *normas fundamentales*, tratamos de estudiar los principios que nos permiten establecer *una seguridad* contra las radiaciones ionizantes, tanto en la irradiación externa como en la contaminación interna, de tal manera que en ambos casos nos resulten tolerables.

I. BASES QUE NOS PERMITEN ESTABLECER LAS NORMAS FUNDAMENTALES

Lo primero que tenemos que recordar son ciertos aspectos radiobiológicos de las radiaciones ionizantes, entre ellos, el primero, el de si existe en la relación dosis-efecto algo que nos permita admitir que para un determinado dintel o dosis las radiaciones no tengan efecto pernicioso. Claro está que este problema tiene distinta altura, según quien lo considere, puesto que si es un genetista sabemos que tendrá que admitir dosis mucho más pequeñas que si se trata de un higienista, en donde los efectos que más le interesan son los puramente somáticos, por tanto de acción más inmediata que en el primer caso. Sin embargo, estas normas fundamentales buscan, desde su raíz, una dosis que sea compatible tanto con las alteraciones genéticas como las somáticas, evitando la producción de ambas.

Al examinar las alteraciones lesionales producidas por la irradiación, se acostumbra dividir sus efectos en dosis con umbral y sin él. En el primer caso, aunque no obtenemos una respuesta hasta llegar a una dosis, ello no quiere decir que no se haya producido un *efecto perjudicial*, aunque éste corresponda a una *dosis tolerable*. Siempre en toda irradiación se da un fenómeno de transferencia de energía a los tejidos irradiados, por lo cual, aunque una irradiación no llegue a un determinado nivel como para producir alteraciones ostensibles, nunca podemos admitir el concepto de *dosis-umbral* como en el resto de la biología, puesto que esto, implícitamente, supondría que hasta no alcanzar este umbral no habría fenómenos patológicos. Si para producir una dosis eritema necesitamos 500 rems., no quiere decirse que una dosis de 300 no conlleve ningún fenómeno perjudicial, porque

no se nos manifieste como en el primer caso.

Situándonos en el caso inverso podemos admitir que no existe la dosis umbral obteniendo de inmediato una primera ventaja: las dosis más débiles tendrán efectos más débiles, pero siempre detectables. Por otro lado la segunda ventaja es que podremos extrapolar, aun a sabiendas de que las respuestas, en la mayoría de los casos, no serán absolutas, sino relativas. Por otro lado, la acción de las radiaciones ionizantes no es específica, y si la amplitud y dimensión de las mismas es igual que en cualquiera de los fenómenos que nos acaecen corrientemente, podemos decir *no que no haya efecto*, sino que éste se encuentre dentro de los términos de *aceptable*.

Esta última forma de considerar los efectos de las radiaciones ionizantes nos es del todo conveniente en el problema de las alteraciones genéticas producidas por la irradiación. En él nos van a desempeñar un papel importante dos factores: la presión de mutación y la de selección, de signo contrario, pero en equilibrio. Mediante las radiaciones ionizantes vamos a introducir un factor de multiplicación sobre el número de mutaciones naturales, lo cual es igual que decir que aumentaremos la presión de mutación. Por el contrario, la presión de selección tenderá en cada generación a la eliminación de estos individuos tarados. Para equilibrar ambos campos se puede aumentar la presión de selección también artificialmente, como en el caso de la zootecnia, con un aumento del sacrificio de reses o animales tarados. Pero en la especie humana, si aumentamos artificialmente la presión de mutación, no podemos aumentar también artificialmente la de selección, ya que los principios más elementales de moral y de justicia hace que estos individuos queden amparados dentro del campo médico-social.

Ahora bien: comparativamente la presión de mutación y la de selección no tienen niveles idénticos. Se está de acuerdo que es necesario que para forzar esa presión de mutación, para que se nos dieran una duplicación de las taras, sería necesario que llegasen a gónadas una cantidad aproximada de 30 rems (1, 2). Por otro lado, la presión de selección se encuentra dentro de los límites de la dosis máxima admisible, esto es, de 5 rems. Dentro de lo imposible que representa el trasladar todos estos problemas a cifras, vemos que hay un factor de multiplicación de 6. Es decir, que para que se rompa el equilibrio de manera manifiesta tendríamos que rebasar ese factor, en el que reside, fundamentalmente, nuestra seguridad.

Para fijar los *niveles aceptables* hemos de recurrir forzosamente a las determinaciones físicas, conociendo antes que nada cuál es la cantidad de radiación a la que naturalmente está sometida la Humanidad. En esta cifra hemos de diferenciar dos capítulos distintos: por un lado la irradiación externa, formada por la radiación cósmica, la radiación gamma terrestre y la gamma atmosférica. En segundo lugar la irradiación interna, derivada de la contaminación que el hombre sufre por pequeñas cantidades de isótopos radioactivos que existen de manera natural.

Lo importante no es considerar la dosis a nivel de todo el organismo, sino a nivel de las gónadas—por sus consecuencias genéticas—, de la medula ósea—por su importancia en el sistema hematopoyético, y, por último, consideraremos los osteocitos, por su participación en la producción de neoplasias.

La dosis absorbida, expresada en milirems por año natural, la vemos en el siguiente cuadro (fig. 1), en el que se encuentran expresados los distintos conceptos:

DOSIS ANUAL EXPRESADA EN MILIREMS/AÑO NATURAL

	Gonadas	Osteocitos	Medula ósea
I. IRRADIACION EXTERNA			
— Radiación cósmica	28	28	28
— Radiación (gamma) terrestre procedente del suelo ...	47	47	47
— Radiación gamma atmosférica	2	2	2
II. IRRADIACION INTERNA			
— Potasio 40	19	11	11
— Carbono 14	1,6	1,6	1,6
— Rutenio	2	—	2
— Radio	—	38	0,5
TOTALES	100	127,6	93

Fig. 1

De una manera general vemos que hay una gran diferencia entre la dosis recibida por las gónadas y la medula ósea.

Respecto a la radiación cósmica, proviene del espacio interestelar, como consecuencia de la radioactividad del sistema planetario. La troposfera y la estratosfera sirven de filtro a esta radiación, en donde encontramos protones, neutrones y electrones, partículas que por su gran poder de penetración hacen que la irradiación de las gónadas sea casi uni-

forme. Las variaciones de esta actividad aumentan de manera extraordinaria con la altura, hasta tal extremo que aquellos vuelos que se hacen por encima de la troposfera y más que nada en los vuelos espaciales, los individuos están sometidos al riesgo de este tipo de irradiación. Ascendiendo nada más que 6.000 metros aumenta aproximadamente diez veces la dosis absorbida, como podemos ver en el cuadro adjunto (fig. 2):

INTENSIDAD DE LA RADIACION COSMICA Y SU RELACION CON LA DOSIS

Altitud expresada en metros	Intensidad en pares de Iones/cm ³ s.		Relación de la dosis en Milirad/año	
	Latitud 50	Cerca del Ecuador	Latitud 50	Cerca del Ecuador
0	2,8	2,3	41	35
1.500	4,5	3	66	44
3.050	8,8	6,1	128	89
4.580	18	12	263	175
6.100	34	23	500	340

Fig. 2

Respecto a la radiación terrestre sabemos que se debe a la presencia de las radiaciones, que emiten espontáneamente ciertos elementos radiactivos, como el uranio, el radio, etc. Esta radiación, que constituye la irradiación de fondo, es sumamente importante y presenta grandes fluctuaciones. En ciertas regiones del Brasil encontramos fluctuaciones sobre la cifra normal (75 mrems

año) hasta de 10 y 15 veces. Pero en la India, en la región de la costa norte de Quilon (Kerala, sudoeste de la India), la radiación terrestre, debida a las arenas radiactivas (monacita), es de unos 830 milrems. La O. M. S. trata de investigar cuáles son las consecuencias genéticas en una población de una dosis tan alta, sobre todo si tenemos en cuenta la forma de sentarse so-

bre el suelo. Se trata de comparar las alteraciones genéticas encontradas en esta población que ha vivido siempre sobre este terreno y las de los habitantes que se hayan implantado recientemente en esta zona. Ya sabemos que uno de los primeros efectos sería (1, 2, 5) el aumento de nacimientos de niñas con respecto a varones. Otro parámetro que debiera observarse es si se presenta o no un aumento en la tasa de mutaciones

recesivas en los matrimonios consanguíneos mediante un fenómeno de acumulación, además de otra serie de estimaciones que no vienen al caso.

Por otro lado, la cantidad de radiación depende del tipo de vivienda que el sujeto tenga: la dosis recibida es menor si la casa es de madera que si es de cemento, y aun es mayor todavía si ésta es de granito (figura 3):

PROPORCION DE RADIO, TORIO Y POTASIO EN DIVERSAS CLASES DE ROCAS

Tipos de rocas	Ra ²²⁶	Th ²³²		K ⁴⁰
	g. g. 10 ⁻¹²	g. g. 10 ⁻⁶		g. g. 10 ⁻²
Rocas ígneas (valor medio)	1,3	12		2,6
Rocas graníticas:				
América del Norte y Groenlandia	1,6 a 0,1	8,1		3,5
Finlandia	4,7 a 0,4	28	2,4	
Alpes	4,4 a 0,7	33	5	
Basaltos:				
América del Norte y Groenlandia	0,96 a 0,7	9,8	0,8	13
Gran Bretaña, Alemania, Francia y Hungría ...	1,3 a 0,1	8,8	1	
Rocas sedimentarias:				
Gres	0,3 aproximad.			
Calcáreas	1,5	1		0,1 a 0,5
Esquistos aluminíferos de Suecia	120	0,6		3,5

Fig. 3

DOSIS DE IRRADIACION EXTERNA POR LA RADIACION GAMMA RECIBIDA EN EL INTERIOR DE LOS EDIFICIOS EN SUECIA (1)

Materiales de construcción de los muros	Centro de la habitación	Dosis media en mrad./año	
		Máximo	Mínimo
Madera	49	57	48
Ladrillo	104	112	99
Cemento ligero (conteniendo esquistos aluminíferos)	172	202	158

DOSIS DE IRRADIACION EXTERNA POR LA RADIACION GAMMA RECIBIDA EN EL INTERIOR DE EDIFICIOS EN AUSTRIA (2)

Tipos de casas	Dosis mrad./año
Casas de madera	54-64
Ladrillo (o cemento)	75-86
Todo en granito	85-128

Fig. 4

(1) B. Hultqvist, en doc. ONU A/AC.82/G/R.15. Publicado igualmente en *Kungl. Svenska Vetenskapsakademiens Handlingar*, vol. 6, serie 4, núm. 3 (1956).

(2) Documento ONU A/AC.82/G/R.102. Comunicación de Austria. Información sobre la irradiación.

Esto hace que en Suecia, en las casas de paredes de madera, se recibe una irradiación tres veces menor en el centro de la habitación, que en las casas de cemento, y en Austria sea aproximadamente cinco veces el aumento de irradiación, en idénticas condiciones.

Respecto a la *irradiación ambiental* está fundamentalmente ocasionada por la emanación de gases radiactivos, como el radón.

En la *contaminación interna* vamos a tener la irradiación dada por la contaminación con ciertos elementos radiactivos que a través de la respiración y la ingesta van a entrar en el organismo. Esencialmente el potasio 40 y el carbono 14, que son invariables en sus cifras, no así con respecto al radio, que puede variar con un factor de 10, dando en ciertos casos límites dosis muy superiores a las normales (figs. 5 y 6):

CANTIDAD DE POTASIO RADIOACTIVO (K^{40}) CONTENIDO POR LOS DIVERSOS ORGANOS DEL CUERPO HUMANO (en gramos de K^{40} por gramo de K^{39})

O rg a n o s	Porcentaje en relación al peso total del cuerpo	Concentración
Músculos	39,6	0,31
Tejido adiposo	21,4	0,06
Esqueleto	13,4	0,11
Piel	6,5	0,16
Otros órganos	6,4	0,18
Hígado	2,3	0,23
Pulmón	2,2	0,27
Sistema nervioso	2,1	0,30
Sistema gastrointestinal	1,5	0,14
Tibia	1,4	0,05
Corazón	0,6	0,19
Riñones	0,4	0,23
Peso total del cuerpo	73,0 Kg.	0,2

G. B. Forbes y A. M. Lewis: "Sodium, potassium and chloride in adult man", *J. Chem. Invest.*, vol. 35, núm. 6, 1956.

Fig. 5

CONCENTRACION EN RADIO DE LOS DIVERSOS TEJIDOS

Tejidos	Núm. de muestras	Concentración de radio por gramo de tejido no tratado		
		Valor mínimo	Valor medio	Valor máximo
Hueso	6	4,9	9,7	16
Pulmones	4	1,6	2,3	3,5
Hígado	4	0,4	3,4	11
Bazo	3	1,8	4,6	7,4
Músculos	2	—	1,4	—
Testículos	28	—	0,6	—

H. Muth, A. Schramb, K. Aurand y H. J. Mantue: *Brit. J. Radiobiology*. Suplemento núm. 7 (1957)

Fig. 6

El establecimiento de las bases de estas normas fundamentales está también basado en la experimentación animal. Muchos de los datos obtenidos no son del todo concor-

dantes, por haber sido extrapolados. Mediante la irradiación de animales irradiados con dosis débiles se ha estudiado comparativamente la vida (longevidad), la pérdida

de peso (relación lineal en función de la dosis), a más de otra serie de parámetros; sin embargo, llegado el momento de la estimación de dosis débiles es necesario extrapolar, lo cual hace que los datos por debajo de 20 rems. no sean suficientes y que no haya ninguno por debajo de 1 rem.

Se ha tratado de establecer una relación entre la dosis y la opacificación del cristalino, pero el valor máximo para éste se encuentra en 600 rems., comenzando la curva en 350 rems.

Otro de los ensayos realizados ha sido el de ver la cantidad de hierro en la médula ósea después de la irradiación, pero al tener que extrapolar resulta que al acercarnos al eje de ordenadas, la curva nos pasa del 100 por 100, lo que a todas luces es inadmisibile.

Por consiguiente, el problema fundamental es que en el momento que queremos relacionar dosis débiles con efectos hemos de recurrir forzosamente a la extrapolación, llegando en algunos casos a perderse la linealidad de la curva. Harían falta experiencias con cantidades masivas de animales para obtener resultados concluyentes, lo que hasta el momento presente es difícil.

NORMAS FUNDAMENTALES Y DATOS DE EXPERIMENTACION HUMANA

Por último, tenemos un grupo de datos provenientes de la experimentación humana, no sin que por ello se nos presenten los inconvenientes de la extrapolación. Las tres fuentes principales de nuestros conocimientos son: a) Las personas irradiadas con fines terapéuticos, en donde la reacción de la piel ante la irradiación fué el primer dato que se tuvo para la estimación de la dosis. Presenta el mismo inconveniente que antes hemos mencionado: a dosis pequeñas no se observa reacción, teniendo necesidad de ex-

trapolar. b) Las personas irradiadas o contaminadas por accidente, en donde la determinación de la dosis que han recibido ya es en sí un verdadero problema, y en donde una serie de circunstancias especiales van a obrar de manera muy diversa. Además, no por eso tenemos que dejar de recurrir a la extrapolación. c) Por último, los irradiados en las explosiones nucleares van a estar sometidos a diferentes tipos de radiaciones; son de una energía extraordinaria y solamente nos sirven para ciertos parámetros, como es el de la estimación que se ha hecho de la dosis de doblamiento.

Todos estos trabajos nos vienen a mostrar que ni los datos físicos ni los mismos obtenidos de la experimentación en mamíferos nos sirven para establecer los límites y que cuando hablemos de dosis permisibles en protección, éstas no son inmóviles, pudiendo encontrarse sometidas a variaciones. Así, menos para las radiaciones naturales, las dosis permisibles han variado en el curso del tiempo y la Comisión Internacional introduce sus variaciones cada seis años. Se estableció esta comisión en 1928; la primera vez al hacer la estimación de estas dosis sólo se tuvieron en cuenta las alteraciones somáticas, sin contar con las genéticas. Más tarde se puntualizaron las alteraciones genéticas y las hematopoyéticas, y, por último, son las estimaciones sobre la duración de la vida las que pueden hacer variar estos conceptos.

A partir de todo esto vamos a ver qué es lo que entendemos por "dosis máxima admisible", ya que hemos visto no hay "dosis permisibles", lo que será un concepto de base verdaderamente imprescindible.

En todo momento nos referiremos a lo publicado por la Comisión Internacional de Radiología.

Pero lo más interesante de todas estas

normas y definiciones es saber el espíritu que persiguen y más que nada la idea que encierran para que si con el tiempo nos vemos obligados a variar tengamos la suficiente amplitud de criterio. Fundamentalmente es lo siguiente: un individuo expuesto recibe una dosis admisible cuando ésta, bien acumulada en el tiempo o en forma única, llega a tener una probabilidad despreciable de ejercer un efecto, sobre todo desde el punto de vista genético. Vemos que esto no era lo que se opinaba, por ejemplo, en 1953, en cuya época sólo se contentaban las normas con que no hubiesen lesiones apreciables. En 1958 se incluyeron los efectos genéticos, con el problema de la presión de mutación (P_w) y por eso se dijo que habría de ser cuando la probabilidad fuese nula o despreciable, aunque mejor sería decir "cuando fuese una probabilidad aceptable", ya que lo primero implica un cierto sentido de comparación.

Se toma la precaución, además, de que la dosis admisible para cada individuo signifique que sea válida para la población en general, teniéndose que estudiar, desde el punto de vista estadístico, las alteraciones genéticas.

También las dosis admitidas para el conjunto de la población están determinadas por causas genéticas.

Con respecto a las poblaciones hay que tener en cuenta el cumplimiento de varias exigencias: la limitación de la irradiación de la población y también del número de personas expuestas, las consideraciones genéticas por cada país. Todo esto hace que cuan-

do hablamos de "colectividad" nos sea extraordinariamente difícil el establecer el concepto de riesgo "aceptable". Las sugerencias de un valor máximo de tolerabilidad o bien de permisibilidad tendrían que establecerse haciendo un estudio detallado y serio desde el punto de vista estadístico de "pros" y "contras" de los valores establecidos.

II. VALORES Y APLICACIONES

Los conceptos que hemos expuesto van a ser aplicables a una serie de grupos o categorías de individuos, establecidos en la forma siguiente:

1.º Los profesionalmente expuestos, entendiéndose por tal al individuo que, por sus actividades, está sometido al riesgo de irradiación, es decir, "a aquel trabajador que en el curso de su trabajo se encuentra sometido al riesgo de irradiación".

2.º Los que se encuentran excepcionalmente expuestos a la irradiación, como sucede con un obrero que va a arreglar ocasionalmente ciertos aparatos a un lugar donde existe radiactividad.

3.º Hay otro grupo que manejan una serie de aparatos o sustancias en los que los riesgos son tan pequeños que no se les incluye entre los profesionalmente expuestos. En el caso de los obreros que llevan los aparatos para la medición de la radiactividad atmosférica, o bien aquellos que vigilan agujas luminiscentes (emiten radiación gamma).

Por consiguiente, y de un modo esquemático, podemos hacer la siguiente división:

- Higiene industrial.....
- 1.º Los profesionalmente expuestos.
 - 2.º Los expuestos ocasionalmente. Los que su trabajo sólo representa un "riesgo mínimo".
 - 3.º Exposición de la población en general:
 - a) Individuo que pertenece a la población en el sentido más general.
 - b) Individuo que pertenece a una población determinada, como sucede con el que habita al lado de una fábrica de productos radiactivos o su casa se encuentra en las márgenes de un río en donde se vierten desechos radiactivos, etc.

Desde el punto de vista de higiene en general, es decir, abarcando toda la población, la clasificación quedaría como sigue:

POBLACION EN SI MISMA, EN SENTIDO TOTAL

Higiene en general...

- A) Trabajadores:
 - Trabajadores profesionalmente expuestos.
 - Trabajadores ocasional o levemente expuestos.
- B) Personas pertenecientes a la población:
 - Población en general.
 - Casos de poblaciones determinadas.

Por tanto, hace falta distinguir a ciertos trabajadores del resto de la población, y determinados grupos también de la población en general.

Cuando un individuo sufre una irradiación ésta puede afectar a todo el cuerpo (irradiación total), o bien limitarse a una parte del mismo (irradiación local o parcial); con respecto al tiempo, la irradiación puede ser fraccionada, en cuyo caso será generalmente limitada, y eso sí siempre con un carácter acumulativo o por el contrario ser una irradiación única. Evidentemente el caso de las irradiaciones únicas siempre suele coincidir con los accidentes. Sin embargo, hay irradiaciones únicas que no son accidentales y que por estar previstas de antemano, se denominan "irradiaciones concertadas". Un caso típico de "irradiación concertada" sería el de la entrada en una zona de radiactividad de un obrero, para reparar una avería que no se pudiera solucionar por ningún otro sistema.

Nuestro esquema queda como sigue:

- 1.º Irradiación total.
- 2.º Irradiación localizada.
- 3.º Irradiación fraccionada.
- 4.º Irradiación única (concertada o accidental).

A continuación vamos a estudiar las normas enunciadas por los organismos oficiales.

A) INDIVIDUOS PROFESIONALES

La idea general que debe presidir para establecer la dosis que un profesional reciba debe estar basada no en un concepto fraccionario, sino unitario; no deberemos, por tanto, establecer dosis límites semanales, ni trimestrales, sino más bien la dosis para toda la vida, y si se quiere, fraccionando, a partir de la dosis total obtener la dosis de una semana, etc.

La fórmula que debemos emplear será la siguiente:

$$D = 5 (N-18) \text{ rems}$$

siendo N el número de años del sujeto y 18 la cifra de los años en que generalmente se empieza a trabajar, y D la dosis máxima a que ha sido expuesto un individuo a los N años.

Como norma general estableceremos la conveniencia de que la dosis absorbida por un individuo se encuentra en todo momento por debajo de la dosis máxima permisible y en segundo lugar que un individuo que haya recibido en un instante dado una sobredosis permanezca sin recibir nuevas exposiciones hasta que la dosis absorbida se encuentre dentro del límite fijado por la fórmula anterior.

Si hacemos la representación gráfica de la misma, vemos que es una recta, de la cual se puede deducir la pendiente, que es de 5 rems.; luego la dosis anual absorbida ha de tener un valor máximo de cinco rems.

En el caso de que los cálculos los hagamos sobre un sujeto de dieciocho años, que es la edad legal de empezar a trabajar, o que los años de trabajo los hayamos podido controlar, nuestros cálculos serán per-

fectos. Siempre se recomienda que a la edad de treinta años, por ningún concepto, haya sobrepasado la cantidad de 60 rems. Pero si este individuo no hubiera empezado a trabajar a los dieciocho años, sino más tarde, o no hubiera sufrido exposición con anterioridad, podría superar, dentro de unos límites controlados, la dosis máxima permisible de 5 rems. anuales; sin embargo, deben seguirse unas normas en estos casos particulares muy estrictas, estableciéndose las dosis parciales, que nunca deberán sobrepasar para el trimestre de los 3 rems., y para la semana, de los 0,1 rems.

	Rems.
Dosis trimestral	3
Dosis semanal	0,1

Según esto la dosis absorbida no debe sobrepasar, en ningún caso, los 12 rems. anuales (como exposición accidental), excediendo siempre lo menos posible a los 5 rems. que acabamos de mencionar, aunque sean individuos que estén irradiados por debajo de la dosis permisible.

De esta forma se excluye la variable edad de comienzo de trabajo, con la consiguiente exposición, aunque no es aconsejable que nadie sufra exposiciones por debajo de los dieciocho años y tampoco que a los treinta años haya sobrepasado los 60 rems., como antes hemos dicho.

A) En primer lugar, que las dosis se encuentren siempre por debajo de la pendiente y que la pendiente trimestre o año sea inferior a la pendiente admitida. Cuando admitimos a un obrero que proviene de otro centro en el cual ha estado expuesto a radiación, pero nos es imposible saber la dosis que ha recibido, supondremos que ha recibido la dosis máxima permisible y que se encuentra en el límite.

No partiremos, pues, del cero, sino que

le situaremos en el máximo, de tal manera que este sujeto no reciba más de los 5 rems. anuales, en su pendiente general, y que nunca rebase los 12 en su pendiente anual, como caso excepcional, una vez en su vida. De esta forma no saldremos jamás de la dosis permisible.

B) En caso de una irradiación parcial o total por accidente puede sobrevenir la irradiación de un órgano crítico con una dosis superior a la tolerable, capaz de causar serios trastornos orgánicos, a causa de su gran radiosensibilidad, lo cual origina una respuesta más rápida y acusada a la irradiación.

A continuación vamos a considerar el caso de una *irradiación parcial*. Indudablemente son más complejas y delicadas, ya que sus efectos dependen de la naturaleza del órgano irradiado y de su radiosensibilidad.

En el caso de una irradiación total del organismo, consideramos como *órganos críticos* los órganos hematopoyéticos, las gónadas, el cristalino; la dosis máxima admisible estará en relación con estos órganos, y si nosotros decimos que no se deben recibir más de 5 rems. al año, serán precisamente estos órganos los que *no deban* recibir una cantidad superior; por el contrario, generalmente, la dosis tolerable en ellos es superior a la establecida. En caso de una irradiación parcial o total por accidente puede sobrevenir la irradiación de un órgano crítico, con una dosis superior a la tolerable capaz de causar serios trastornos orgánicos, por su gran radiosensibilidad, lo cual origina una respuesta más rápida y acusada a la irradiación. Por tanto, el "daño radiactivo" nos va a venir tanto porque la cantidad de radiación sea excesiva o bien por la particular sensibilidad del órgano; peor aún cuando se combinan ambos factores.

Respecto al órgano crítico deberemos considerar la función que éste realice, puesto que hay casos, como es el de la medula

ósea, cuya importancia es extraordinaria si, por ejemplo, lo comparamos con el tiroides. No tiene igual trascendencia una contaminación por iodo radioactivo que va al tiroides que una contaminación o irradiación de la medula ósea que determine una disminución o paralización de sus funciones.

Los valores respecto a las dosis posibles para estos órganos internos, excluyendo los genitales y los hematopoyéticos y el cristalino, que son los que limitan la dosis máxima permisible a los 5 rems. por año, son los que van a ser objeto de estudio a continuación.

Se admite que para *hígado, pulmón y riñón* la dosis máxima permisible es de 15 rems. por año, con menos de 4 rems. por trimestre (1).

Para la piel—también se podría incluir el tiroides—la dosis máxima permisible sería de 30 rems. por año, con 8 rems. por trimestre.

Con respecto a las extremidades son 20 rems. por trimestre, con 75-80 al año.

Como vemos, la dosis aumenta en proporción inversa a la radiosensibilidad.

No todos los países se dejan guiar por estas normas, y así en los países de la Euratom el tiroides ha sido excluido de este apartado y se le incluye en los órganos internos y no junto a la piel.

En Francia las dosis admitidas son menores que las citadas.

IRRADIACIONES UNICAS

Hemos de distinguir dos clases: aquellas que antes hemos denominado *concertadas* (de carácter extraordinariamente excepcional) y las que conocemos como *accidentales*.

La irradiación concertada es excepcional,

(1) Se considera como un trimestre trece semanas.

ya que solamente será necesaria cuando la avería de un aparato no tenga más solución que ser reparada, mediante la entrada en la zona de actividad. A la persona que entre tenemos que fijarle una dosis máxima, ya que también tenemos un límite de tolerabilidad.

Este límite es de 5-12,5 rems. en una sola vez, de tal manera que *solamente una exposición* de este tipo es la que se puede recibir durante *toda la vida*.

Aunque las consecuencias de un accidente no pueden preverse, es deber del que establece la protección calcular en la medida de lo posible la dosis de irradiación que se puede absorber en un determinado accidente con la mayor aproximación, para su condición de trabajo, debiéndose establecer los cálculos para que un individuo no absorba más de 25 rems.

El establecer un límite de este tipo tiene por objeto el que con arreglo a la dosis de vida total la cantidad que podría recibir un sujeto podría ser mayor, pero en este caso caeríamos en el defecto de dejar incapacitado profesionalmente a ese individuo, que ya no estaría en situación de recibir ninguna irradiación, por pequeñas que fueran las dosis. Con esta medida de prudencia, un alejamiento temporal podrá permitir al sujeto una nueva incorporación sin haber saturado todas sus posibilidades, lo cual sería antieconómico y antisocial; por tanto, el precepto fundamental para el establecimiento de estas dosis es que el individuo no se vea precisado a abandonar su trabajo por causa de un accidente.

Resumiendo, tenemos que:

	Rems. como máximo
a) Trabajador expuesto accidentalmente.	25
b) Trabajador concertado (excepcional).	12,5

Un caso especial es el siguiente: el caso

de un individuo que recibe 25 rems., con un intervalo de seis meses, por ejemplo, la primera irradiación de 15 y la segunda de 10 rems. En este caso, como hay un fraccionamiento en la absorción de la dosis, desde el punto de vista biológico, ha habido el tiempo de una recuperación. Por tanto, esto es muy distinto al caso en que el individuo recibe los 25 rems. en una sola vez, sin ninguna posibilidad de recuperación por el fraccionamiento de la dosis. Esta diferencia no ha sido prevista, ni hay ninguna consideración aparte, pudiéndose, por otra parte, recibir una sanción de la Organización Internacional del Trabajo, que considera ambos casos iguales.

NORMAS EN CASOS PARTICULARES DE TRABAJADORES

Una de las situaciones más delicadas en el campo de la protección es el de las mujeres, que la podemos considerar de tres maneras con respecto a la procreación: la mujer como embarazada "en potencia", aunque sea soltera, en el momento de admisión; la mujer que por estar en el comienzo de la gestación ignora completamente su embarazo, y, por último, la que está embarazada y asiste al trabajo.

La Comisión Internacional de Protección Radiológica ha dicho que en el caso de las mujeres embarazadas habría que adoptar reglas y precauciones especiales que se harían extensivas a todas las condiciones de reproducción. Sobre este problema hay dos puntos de vista que hemos de considerar, ya que sería de las peores consecuencias el eliminar a una mujer de un puesto de trabajo o impedir su acceso por la posibilidad de que pueda casarse y quedar embarazada. Por tanto, siendo esta última postura la úni-

ca que no podemos adoptar tenemos que enjuiciar el problema de otro modo.

Los racionalistas hacen la siguiente consideración: si la dosis admitida es de 5 rems. anuales, o, lo que es lo mismo, de 0,1 rems. semana, hay que preguntarse cuál es el efecto que sobre un feto pueda tener una dosis de 0,3 rems. para las tres primeras semanas, período que es el que tarda una mujer en darse cuenta que está embarazada. Si tratando de obtener datos nos vamos a los extraídos en la experimentación de la rata, vemos que cualquiera de los ensayos han sido hechos con dosis por encima de 1 rem.; no obstante, las experiencias que se han hecho con 3 rems. por trimestre se han mostrado realmente catastróficas, lo que ya, *a priori*, nos hace establecer que 3 rems. por trimestre sería también catastrófico en el caso de la especie humana; es más, mucho más catastrófico que en la rata, ya que la especie humana tiene una sensibilidad muy distinta de la murina, debido a que la maduración del sistema hematopoyético en el hombre, intrauterinamente, se hace más precozmente.

Pero la determinación de cuál es el efecto para 0,3 rems. es incontestable. Por ello, y para más seguridad aún, se hace descender para la embarazada el límite de 5 rems./año a 1,5 rems. por año.

De ello, en cierto modo, se deriva la otra postura que pudiéramos llamar de máxima seguridad, la cual sostiene que, aunque lógicamente no sepamos cuál es el efecto de tan pequeñas dosis, lo mejor es no exponer a una mujer embarazada a ninguna radiación, por pequeña que ésta sea. Esto hace que las mujeres, si son admitidas en zonas de irradiación—aun en los límites normales—, sean desplazadas inmediatamente de su matrimonio o si es posible emplearlas en lugares en donde no haya más irradiación

que la natural. Esta última opinión es la que sustenta la Euraton.

Un problema que todo el mundo se planteará es el de la protección en la mujer que va a contraer matrimonio, ya que por la irradiación podrían originarse alteraciones de las células sexuales, que, en definitiva, van a dar origen a alteraciones en el embrión. Recordamos cómo en Alemania se recomendaba apartar a la mujer seis o nueve meses antes de su matrimonio.

Sin embargo, los conceptos que presiden hoy son distintos: por un lado el cálculo de la dosis permisible se ha hecho basándose en que no tenga consecuencias genéticas; pero, por otro, sabemos que la dosis que llega al ovario tiene un efecto integrador. Aunque el estado de gonía es menos sensible que el de cito cualquier alteración causada por la irradiación, va a quedar impresa en cualquiera de las 400.000 gonias del ovario, precisamente de las que se van a tomar 400, que son las puestas que la mujer hace a lo largo de la vida.

Por tanto, es inútil el apartar a la mujer de su trabajo antes de su casamiento *si no se ha seguido una buena protección*, pues con ello poco remediamos.

B) INDIVIDUOS NO PROFESIONALES: TRABAJADORES OCASIONALMENTE EXPUESTOS Y TRABAJADORES CON RIESGO MINIMO

En estos casos las reglas son todavía más restringidas, ya que solamente se admiten 1,5 rems. por año. Una disminución tan acentuada se encuentra explicada por dos motivos: en primer lugar, que la cantidad de trabajadores en estas condiciones es un número mucho mayor, y en segundo lugar—esto es lo más importante—que los cálcu-

los se basan en que a una población determinada considerada cuantitativamente le corresponde una dosis fija por generación.

Si queremos conservar esta última cifra, que es la que verdaderamente nos va a dar la pauta, tendremos que los grupos expuestos no podrán pasar de una cierta cantidad de individuos.

Las dosis que se calculan para la población habrán de enfocarse desde el punto de vista genético, contando con las otras fuentes, aparte de las naturales. Esquemáticamente:

- 1.º Irradiación natural.
- 2.º Irradiación médico-terapéutica.
- 3.º Otras fuentes de irradiación (industrias, minas radiactivas, explosiones nucleares, etc.).

Todas las irradiaciones, sin contar la primera, no deben pasar de 5 rems. *por generación*, entendiéndose por generación un período de treinta años.

En segundo lugar tenemos el problema de la repartición de estas dosis entre la población:

- a) Para los *profesionalmente expuestos*, en conjunto, no debe pasar de 1 rem. por año.
- b) Para el conjunto de los *débilmente expuestos* y las poblaciones particulares no pasará de 1,5 rems.
- c) Para el resto de la población será de 2 rems.

Si hacemos la suma de las cifras anteriores vemos que todavía nos quedan 0,5 rems. que los tendremos en concepto de seguridad.

Por otra parte, haciendo el cálculo de la población trabajadora activa, observamos

que el tanto por ciento de profesionales expuestos se encuentra limitado, siendo su cifra, aproximadamente, de un 7 por 1.000

Por consiguiente, enfocando el problema desde el punto de vista de la población, tenemos:

	Rems. por año
1.º Trabajadores profesionalmente expuestos	1
2.º Trabajadores ocasionalmente expuestos:	
Trabajadores débilmente expuestos	1,5
Grupos particulares de población	}
3.º Resto de la población	2
4.º Reserva en concepto de seguridad	0,5
Total por generación (treinta años)	5

En el caso de que el incremento industrial radiactivo llegue a tal punto que sea el 3 por 100, tendremos que bajar 0,5 rem. por individuo al año.

Si queremos aplicar todas estas reglas de una manera correcta tendremos que distinguir muy bien los casos de los profesionales, de los débilmente expuestos y de los ocasionales, ya que no caben mezclas de grupos. Lo más difícil es calcular la cifra de los profesionalmente expuestos, y a partir de éstos haremos el cálculo del resto.

En todo esto van a intervenir las condiciones del país, ya que será diferente si éste es grande, con extensas zonas desérticas, que si, por el contrario, está superpoblado y con una densidad de población mayor. El establecimiento de las zonas vigiladas será mayor y el aplicamiento de las mismas se hará con mayor o menor amplitud, según los casos.

BIBLIOGRAFIA DE TRABAJO

1. ABAD, R.: "Efectos genéticos producidos por las radiaciones ionizantes", *Medicamenta*, núm. 381 año 1962.

2. — Caps. IX, X y XI del libro de *Radiaciones ionizantes. Fundamentos físicos, radiobiológicos y usos terapéuticos*, del Prof. Pérez-Modrego y Plata Bedmar.

3. — "La contaminación del hombre por los isótopos radiactivos", *Farmaes*.

4. — Curso de "Protección contra radiaciones ionizantes". Conferencias Escuela Nacional de Medicina del Trabajo.

5. CLARKE, L. A.: *Genética práctica*. Toray, 1965.

6. *International Commission on Radiological Protection Health Physics*, vol. 12, núm. 2, págs. 243-302.

7. PEREZ-MODREGO, S.; PLATA BEDMAR, R. A.: *Radiaciones ionizantes. Fundamentos físicos, radiobiológicos y usos terapéuticos*, cap. XXI.

8. PIEDROLA, G., y AMARO LASHERAS: *Energía nuclear en paz y en guerra*.

9. *Protección contra las radiaciones ionizantes*. Editado por la Dirección General de Sanidad.

10. *Protection contre les radiations ionisantes*. I.N.S.T.N. (Saclay, París).

11. *Rapport de Comité Scientifique des Nations Unies pour l'étude des effets des radiations ionisantes*. Supl. núm. 17 A/3838.

12. *Recommendations of the International Commission on Radiological Protection*. ICPR. Publicación 3.

13. *Travaux Pratiques de Physique Nucleaire* (Saclay, París).

14. TUBIANA, M.; DUTREIX, J.; DUTREIX, A.; JOCKEY, P.: *Bases physiques de la radiotherapie et de la radiobiologie*. (Masson, edit.).