

CONTRIBUCIONES ORIGINALES

## INVESTIGACION DE ZONAS DE RIESGOS DE IRRADIACION EN UN NUEVO SERVICIO DE RADIOLOGIA \*

GUILLERMO SANTÍN † §  
ANDRÉS LÓPEZ-BAUTISTA §

*Cualquier dosis de radiación ionizante es acumulable. Convencidos de los daños posibles por rayos X, se proporcionan ejemplos de éstos para uso de médicos en general y de técnicos. Es el propósito que se tengan a mano datos fácilmente consultables de las dosis que reciben las personas presentes a ciertas distancias de una fuente de radiaciones X durante fluoroscopia, cineradiografía, registro con cinta magnética, seriografía, o durante cateterismo y secuencias en hemodinamia; se proporcionan gráficas hechas con precisión al empezar a funcionar un gran servicio de radiología en el Hospital Infantil de la Institución Mexicana de Asistencia a la Niñez.*

*También se incluyen gráficas de las dosis aplicadas a enfermos durante estudios radiológicos, con kilovoltajes desde 60 hasta 100 Kv. Al final se calculan dos situaciones concretas.*

\* Presentado en la sesión ordinaria de la Academia Nacional de Medicina, celebrada el 26 de mayo de 1971.

† Académico numerario.

§ Hospital Infantil. Institución Mexicana de Asistencia a la Niñez.

El riesgo de recibir radiación ionizante en usos médicos interesa a todas las especialidades, por lo que puede hacer de daño a los pacientes, pero también a los propios médicos. Esta es la razón funda-



1 Necrosis tardía grave postirradiación con equipo de Chaoul.

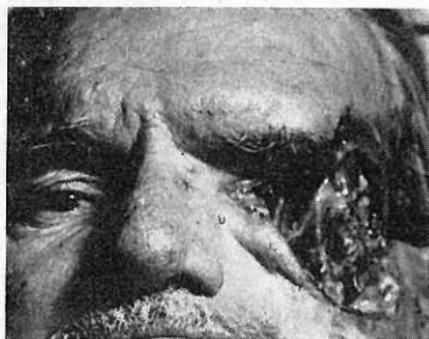
mental que nos movió a presentar esta investigación a la Academia Nacional de Medicina.

Se ha calmado la alarma que hace unos años<sup>1</sup> despertara el peligro real de los efectos de la radiación. La humanidad no puede ya prescindir de su empleo en esta era.<sup>2</sup> La alarma hace años se debió más a intereses políticos que a un deseo franco de establecer normas de protección. Sin embargo, logró crear conciencia tanto en los constructores de hospitales como en los radiólogos para "planear" una protección relativa en estructuras y normas de trabajo. Hace 10 años aparecieron innumerables artículos serios sobre efectos y protección. Siguió una calma notable, y llama la atención que coincidimos con tres artículos<sup>3, 4, 5</sup> en divulgar investigaciones similares con equipos y

procedimientos modernos, incluyendo cateterismos en hemodinamia.

No hay suficiente divulgación en español sobre cifras precisas y zonas de mayor riesgo, o el peligro en las condiciones usuales de trabajo y dosis administradas a enfermos y operadores. Pocas personas se han interesado en revisar las condiciones, riesgos prácticos y reales una vez hechas las instalaciones de radiodiagnóstico, radioterapia o radioisótopos; de instruir al personal sobre dónde colocarse durante el trabajo, cómo proteger más a su paciente; pocos autores se han interesado en escribir sobre estos temas en nuestro país.<sup>2, 6, 7</sup>

Ayudar a esta información es la meta de este trabajo, publicando cifras y diagramas hechos al iniciar las actividades de un extenso servicio de radiología en el Hospital Infantil de la IMAN. De paso, demostrar la utilidad de la incorporación de un físico en radiaciones en un hospital, encargado y responsable de protección e investigaciones en todo lo que atañe al uso de radiaciones ionizantes en los diversos servicios: diagnóstico, terapéutica,



2 Necrosis postirradiación con equipo de 200 Kv. Perdura carcinoma.

GUILLERMO SANTÍN Y COL.



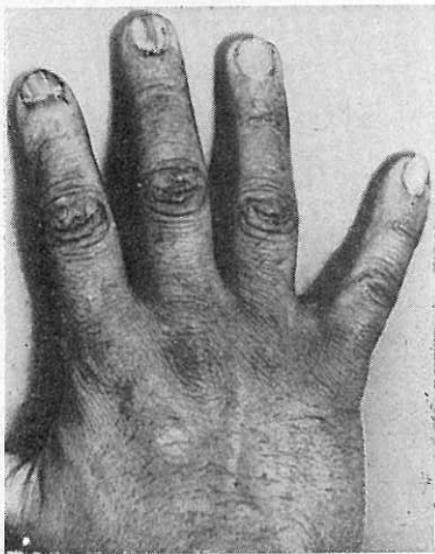
3 Irradiación hasta dermatitis húmeda ya en fase de descamación. Tratamiento adecuado con rayos X.



5 Telangiectasia cicatrizal posterior a radiación adecuada supraclavicular.



4 Depilación consecutiva a tratamiento adecuado en glioblastoma cerebral.



6 Radiodermatitis crónica, atrofia ungueal y carcinoma de la piel por fluoroscopia.

medicina nuclear; esto constituye un paso adelante al reconocimiento de su utilidad ya indiscutible en el área de la radioterapia.

### Posibles efectos dañinos de la radiación producida por el hombre

Es curioso que algunos médicos aún no crean en la acción dañina de las radiaciones. Probablemente sea porque no se publican los daños sino los resultados de buenos tratamientos. De vez en cuando importa recordar o conocer estos daños para no incurrir en ellos:

Las necrosis por irradiación pueden ser graves (fig. 1).

Puede resultar necrosis (con sobredosis) aún sin eliminar la neoplasia que le dio la indicación de empleo (fig. 2).

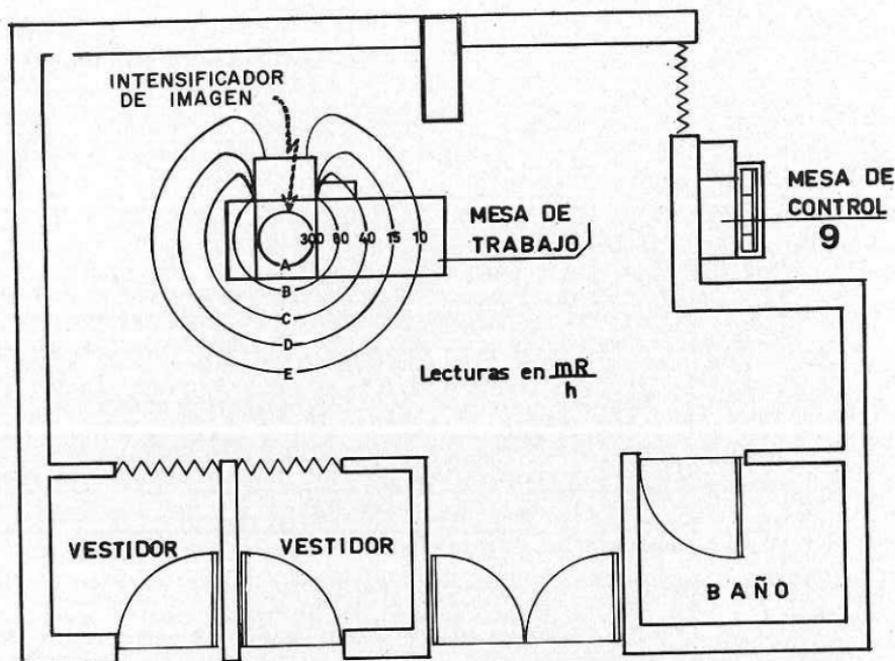
La vigilancia y cuidadosa terapéutica radiológica necesita llevar a veces a la dermatitis intensa, a la descamación (fig. 3) a la depilación (fig. 4) y a cicatriz permanente (fig. 5).

La exposición de las manos en exploraciones fluoroscópicas es como la de cualquier otra región expuesta, aditiva. Si pasa 600 R (Roentgens) producirá una radiodermatitis, persistente en ocasiones, y atrofia; y si se repite una, dos o más veces, cicatriz retráctil, fragilidad a heridas e infección, escaras y carcinomas cutáneos. Esto ocurría a radiólogos inexpertos, pero sigue ocurriendo a médicos que usan equipos portátiles o fluoroscopios en sus consultorios, si no tienen suficiente información sobre la física de distribución y dosis relativa al tiempo y distancia de empleo (fig. 6).



7A Fluoroscopia con amplificador de imagen, televisión y cinepulso en posición horizontal (véase el texto).

Lesiones avanzadas en las manos y hasta necrosis pueden ocasionalmente resultar de una sola sesión fluoroscópica, en pacientes y médicos (internos de un hospital a veces) que intentaron quitar un cuerpo extraño fluoroscópicamente. Este es un instrumento peligroso, como lo es un aparato dental. Lo es más porque en general es el tipo de equipo que adquiere un médico para auxiliarse en su ejercicio no radiológico. Un equipo de éstos, usando 5 miliamperios, puede llegar a producir cambios graves, especialmente si la piel del enfermo o del médico está en contacto con la salida del haz primario sin un "cono" y sin filtro que alargue la



Distancia foco-curva de isodosis: A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm. y E:125 cm. Factores utilizados: 70 Kv., 0.5 mA., y 2 mm. Al., foco fino, campo  $20 \times 20$ . Distancia foco-centro-fantoma 60 cm.

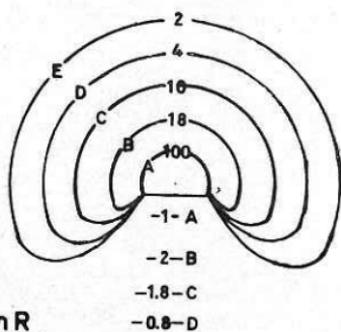
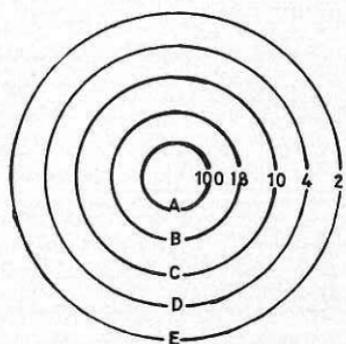
7B Plano e isodosis del mismo equipo en posición horizontal. Curvas de isodosis obtenidas a 1 m. del nivel del piso. En el texto se explica el riesgo relativo a las diversas distancias (*Sala IV del Servicio de Radiología*).

distancia del foco a la piel o que filtre de modo suficiente la radiación más dañina.

Medidas hechas por los autores en un equipo portátil, a 5 cm. del foco, sin más filtro que el inherente al aparato y al tubo, con 65 kilovoltios, dieron cifras de 360 R en un minuto.

La dosis máxima permisible, sin daño aparente, es de 0.1 R por semana (100 miliRoentgens), y puede servir como una

base de comparación. A cualquier enfermo con algún estudio radiológico (que no sea tórax en telerradiografía) se le administrará una dosis que sobrepasa la máxima permisible. Se le irradia justificadamente por la información valiosa que se obtiene de su estudio; habrá de irradiársele sin embargo, lo menos posible, y sólo lo suficiente para obtener esa información valiosa, no obtenible por otro medio.



Lecturas en  $\frac{mR}{h}$

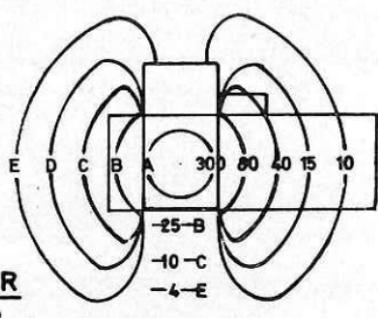
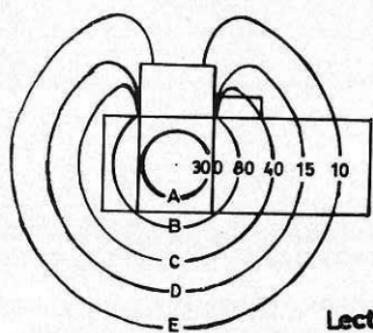
Distancia foco-curva de isodosis: A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm.; E:125 cm. Factores utilizados: 60 Kv., 1 mA., 1mm. Al. Distancia foco-fantoma 90 cm. Campo 20 x 20.

7C Plano e isodosis. Curvas de isodosis del mismo equipo con y sin mandil (coraza) colgado en el fluoroscopio. A 60 Kv. (Sala V del Servicio de Radiología).

### Distribución y proporción de radiación

Las determinaciones (medidas) se realizaron con un dosímetro Frieseke & Hoepfner modelo 40 TLS con rango de 0-50 Roentgens por hora.

Se trazaron curvas de isodosis a distancias fijas, porque es más fácil entender para una persona: "Si me coloco a 25, a 50 cm. o a 1 metro de distancia de la fuente de radiación, ¿qué tanto recibo? Son curvas circulares también porque son más fáciles de entender y para lograrlas,

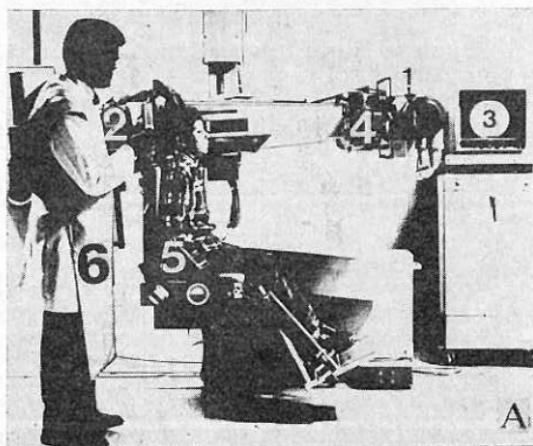


Lecturas en  $\frac{mR}{h}$

Distancia foco-curva. A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm.; E:125 cm. Factores utilizados: 70 Kv., 0.5 mA., 2 mm. Al., campo 20 x 20. Distancia foco-centro-fantoma 60 cm.

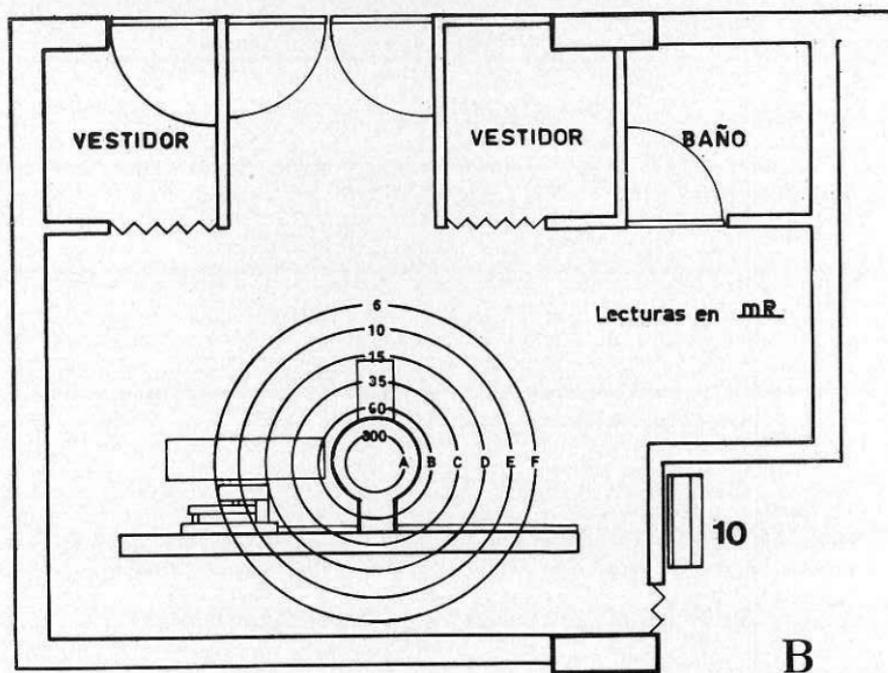
7D Plano e isodosis. El mismo equipo con y sin mandil. 70 Kv. (Sala IV del Servicio de Radiología).





8A Equipo de neurorradiología con silla-mesa de rotación de 360° con fluoroscopia televisada (véase el texto).

8B Plano e isodosis. Curvas de isodosis del mismo con la silla-mesa horizontal. Curvas obtenidas con el equipo Miner III a 1.20 m. sobre el nivel del piso (Sala V del Servicio de Radiología).



Distancia foco-curva de isodosis: A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm.; E:125 cm. y F:150 cm. Factores utilizados: 60 Kv., 2.3 mA., 1mm. Al, foco fino, campo 20 × 20. Fantoma de agua cilíndrico de 20 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.

tal plomoso (9). (Véanse las figuras 7 B - 7 E).

B) *Equipo de neurorradiología* con mesa de rotación 360° (fig. 8 A). Tubo con protección habitual de coraza (1); amplificador de imagen X 3 000 (2); televisión-fluoroscopia (3); colimador cuadrado y circular con haz luminoso (4) con filtro de 2 mm. de aluminio; paciente en la mesa-silla (5); posición ocasional de una persona que tiende a ayudar a fijar o sostener al enfermo durante la toma (6) (cosa que no debe hacerse); caseta del técnico protegida con cristal plomoso (10) (véase la fig. 8 B).

C) *Equipo urológico* (fig. 9 A). Las partes son como en cualquier equipo: tubo (1), coraza (2), filtro (3), colimador (4); se hace hincapié en la posición del urólogo (5), frente a la mesa (6), de un médico no radiólogo, con más riesgo por las necesidades propias de su trabajo; conviene que se aleje siempre que le sea posible en el momento de las exposiciones o dársele protección adicional con mampara de hule colgada del tubo de rayos X (fig. 9 B).

D) *Equipo de hemodinamia*: (figura 10 A) dos tubos de 90° (1 y 2), un amplificador de imagen de X 3 000 (3), dos seriógrafos hasta 6 exposiciones por segundo (4 y 5), una cámara de cine de 35 mm. para exposición automática con cinepulso (6); enfermo en mesa para cateterismo (7), uno de los monitores (8); posición opcional del médico al cateterizar (9). Gran colimador (10) con delantales de plomo (no incluidos aquí para no obstruir otros instrumentos) (11); inyector (12). Cinescopio (13), para fluoroscopia televisada (ver figura 10 B).

## Dosis con técnicas usuales en radiodiagnóstico

- a) Cinerradiografía.
- b) Fluoroscopia con amplificador y cinescopio de televisión.
- c) Dosis con exposiciones radiográficas.

Estas medidas se efectuaron con un Victoreen modelo 570 con dos cámaras de ionización (de acuerdo con la magnitud de la medida a hacer): la cámara de 0.25 R, modelo 130; y la cámara de 5 R modelo 228; ambas proporcionan una precisión de  $\pm 10$  por ciento. Todas las lecturas son en aire, colocando la cámara de ionización sobre el campo de la radiación primaria, de 20 cm.  $\times$  20 cm.

### a) Cinerradiografía

Ahora con la cámara modelo 228 a una distancia de 50 cm. del foco, se obtuvo el monto de irradiación por metro de película durante cinerradiografía con cinepulso y fotómetro; logra las mismas densidades con diversos Kv; 10 a 20 metros es una longitud habitual para un estudio promedio:

KV	mA	mR
		metro película
50	0.38	94
60	0.28	94
70	0.20	94

La cantidad de miliroentgen por metro de película  $\left(\frac{\text{mR}}{\text{metro película}}\right)$  se obtuvo empleando cinepulso que interrumpe exactamente la exposición en cada cuadro. Para que la película reciba la misma cantidad de radiación, el equipo tiene un mecanismo automático que varía al mA (miliamperaje) cuando se cambia ma-

nualmente al KV. Posteriormente se hizo un estudio de dosimetría en función de diferencias de espesor. La frecuencia fue de 16 cuadros por minuto.

b) *Fluoroscopia televisada con amplificador de imagen X 3 000*

Usando las cámaras del dosímetro Victorreen, se obtuvo el cuadro 1.

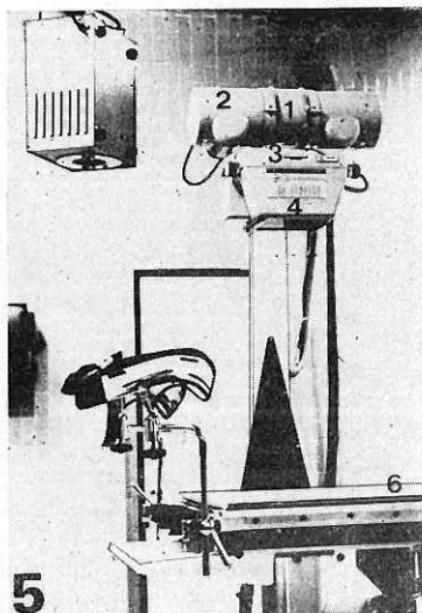
Dichas medidas fueron efectuadas colocando la cámara de ionización encima de la cubierta de la mesa, dentro del campo de la fluoroscopia, utilizando un filtro de 2 mm. de aluminio y una distancia foco-cámara de 52 cm. El campo utilizado fue de 20 cm.  $\times$  20 cm. A partir de estos datos se obtuvo la figura 11.

c) *Radiografías: dosis con exposiciones radiográficas*

Con el mismo equipo se obtuvo el cuadro 2 con valores para una distancia foco-

Cuadro 1 Proporciona cifras de irradiación en fluoroscopia televisada con 3 pasos de Kv.: 50, 60 y 70 Kv.

KV	mA	$\frac{mR}{\text{min.}}$
50	0.3	73
	1.0	435
	2.0	930
	3.0	1 590
60	0.3	142
	1.0	700
	2.0	1 640
	3.0	2 430
70	0.3	195
	1.0	890
	2.0	1 905
	3.0	2 840



9A Equipo urológico, posición horizontal (véase el texto).

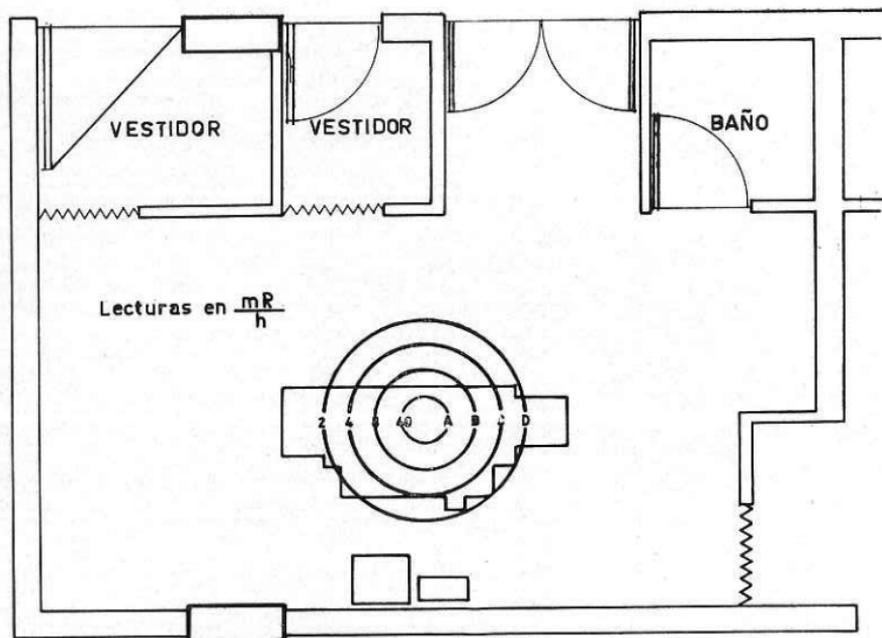
cámara de 100 cm. Además de proporcionar cifras absolutas, las columnas intentan demostrar comparativamente las diferencias notables producidas por el uso de filtros.

La expresión de estos datos en gráficas tiene ventajas considerables en la consulta inmediata (fig. 12-16).

*Protección estructural*

Los muros laterales son de 30 cm. de espesor y se encuentran protegidos con 15 mm. de barita (sulfato de bario) por una sola cara.

El techo se encuentra protegido con 15 mm. de barita.



Distancia foco-curva de isodosis: A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm. Factores utilizados: 60 Kv., 0,5 mA., 2 mm. Al, foco grueso, campo 20 × 20. Fantoma de agua cilíndrico de 20 cm. de diámetro y 20 cm. de altura. Distancia foco-centro-fantoma 90 cm.

9B Plano e isodosis del equipo urológico. Curvas obtenidas a 1 m. sobre el nivel del piso.

El piso está igualmente protegido con 15 mm. de barita, excepto bajo la base de la mesa, en donde está colocada una placa de plomo de 300 cm. de largo por 150 cm. de ancho y 3 mm. de espesor.

Los vestidores tienen muros de 20 cm. de espesor recubiertos con barita y las puertas son corredizas con cubiertas de plomo de 1.5 mm. de espesor.

El control del paciente se hace por medio de una ventanilla de vidrio emplomado de 5 mm. de espesor.

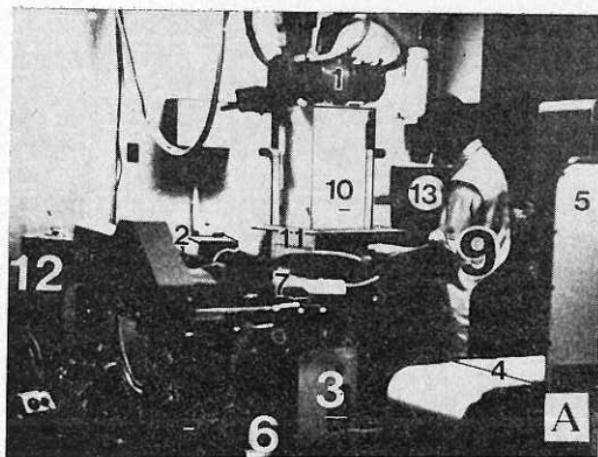
En cualquiera de las condiciones de empleo de equipo, no se perciben canti-

dades detectables detrás de cualquiera de las barreras estructurales.

### Conclusiones

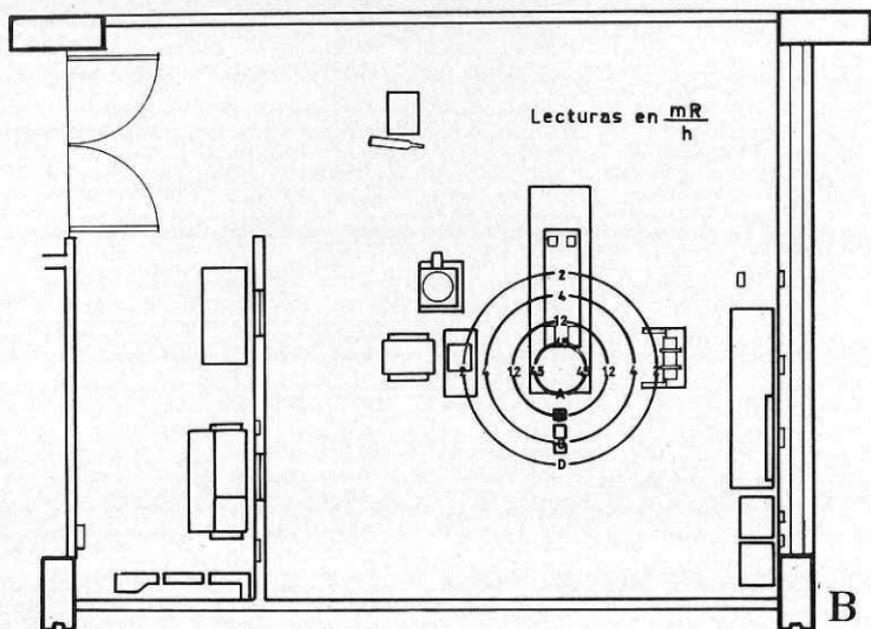
Realizadas estas determinaciones, son consultables en cualquier tiempo. Por ejemplo, durante el estudio de vías digestivas un niño puede recibir:

Por 10 metros de cine (con cine-pulso)	940 mR
Por 10 minutos efectivos de fluoroscopia (70 Kv, 1 mA)	8 900 mR



10A Equipo de cateterismo y hemodinamia.

10B Plano e isodosis. Usando fluoroscopia televisada con el tubo de rayos X de arriba (véase el texto). Curvas obtenidas a 1 m. sobre el nivel del piso.



Distancia foco-curva de isodosis. A:25 cm.; B:50 cm.; C:75 cm.; D:100 cm. Factores utilizados; 60 Kv., 0.8 mA., 2 mm. Al., foco fino, campo  $20 \times 20$ . Fantoma de agua cilíndrico de 20 cm. de diámetro y 20 cm. de altura.

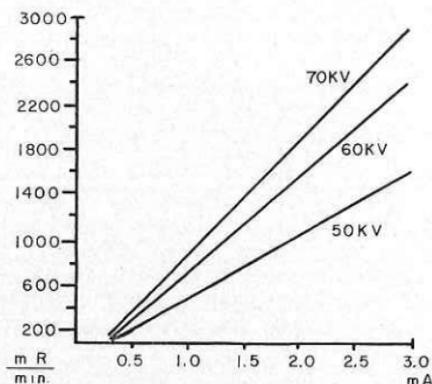
Por 30 exposiciones radiográficas en serie (70 Kv, 12 mA)

Total:  $675 \text{ mR}$   
 $10\,515 \text{ mR} = 10.5 \text{ R}$

Este cálculo se deriva de tomar de las gráficas correspondientes a cine, exposiciones radiográficas, y la fluoroscopia, los factores que se usan en el ejemplo que se escoge. La cinta magnética se graba simultáneamente a la fluoroscopia y no contribuye su registro con más radiación. Sin contar las ventajas clínicas que proporciona hoy el uso de los métodos modernos de examen en toda su potencialidad, esta dosis, dada como ejemplo real en un estudio de la porción alta de las vías digestivas, es aproximadamente cinco ve-

**Cuadro 2** Irradiación durante exploraciones radiográficas. Dosis en miliroentgens por exposición con distintos valores de Kv. Distancia foco-película 1 m. Colimador limita la radiación a un campo  $20 \times 20 \text{ cm}$ .

KV	mAs	Sin filtro mR/exp.	1 mm. Al. mR/exp.	2 mm. Al. mR/exp.
60	2.5	8.5	5.0	3.4
60	7.0	23.8	14.4	9.8
60	12.0	38.5	22.8	18.9
70	2.5	10.5	6.3	4.6
70	7.0	30.7	20.8	13.7
70	12.0	49.9	32.0	22.5
80	2.0	12.3	7.9	6.1
80	6.0	34.9	23.2	16.8
80	10.0	55.1	36.7	27.5
80	12.0	63.5	43.7	33.6
90	2.0	14.1	10.0	6.9
90	5.5	39.8	27.1	21.0
90	9.0	63.4	44.6	33.2
90	14.0	96.5	67.7	56.8
100	1.8	14.8	10.5	7.5
100	5.0	40.7	29.2	21.8
100	8.5	66.1	46.8	37.2
100	13.0	98.5	72.0	57.2



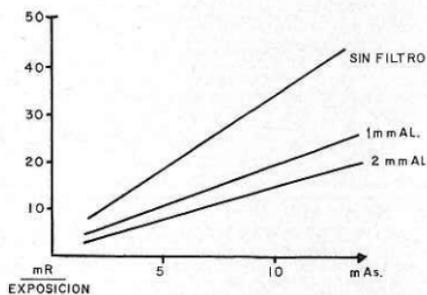
11 Expresa el cuadro 1: Irradiación en fluoroscopia. Dosis en miliroentgens por minuto en ordenadas, con diversos miliamperios en las abscisas y 3 diversos Kv. Filtro de 2 mm. de aluminio.

ces menor de lo que se requiere irradiar para el mismo estudio en "series" con fluoroscopia convencional y placas radiográficas en serie.

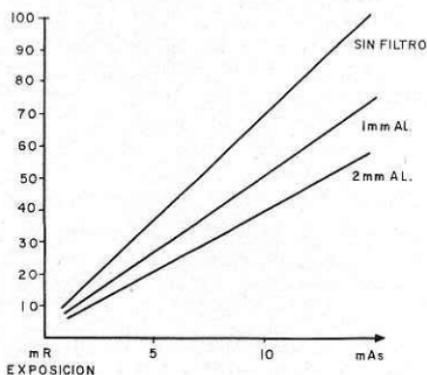
Otro ejemplo: en hemodinamia, un estudio con cateterismo, documentos radiográficos y cineradiográficos puede calcularse como el anterior de cada una de las tablas:

- 1) De las curvas de fluoroscopia se toma la cifra que corresponda por los minutos que dure el estudio.
- 2) De las curvas de radiografías se toma la cifra correspondiente a la exposición, y se multiplica por el número de placas que incluyó la serie radiográfica (20 ó 40 por ejemplo) en un plano; y se hará lo mismo con los obtenidos en el plano a  $90^\circ$ .
- 3) De la curva de mR/metro de película, se toma la cifra que corresponda.

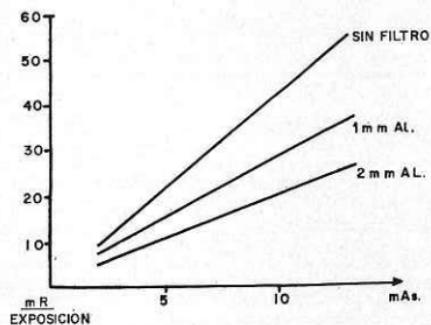
Se suman todas y se obtiene la dosis recibida por un paciente que será  $10 +$



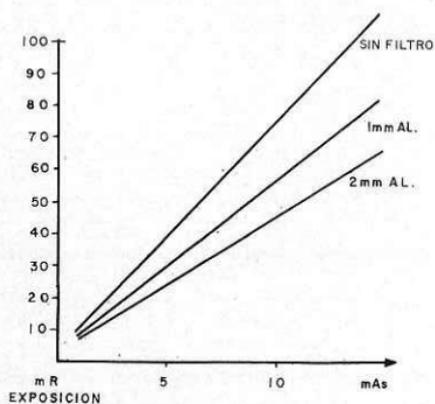
12 En dosis en miliroentgens por exposición, a 60 Kv. Distancia foco-película 1 metro. Campo  $20 \times 20$  cm.



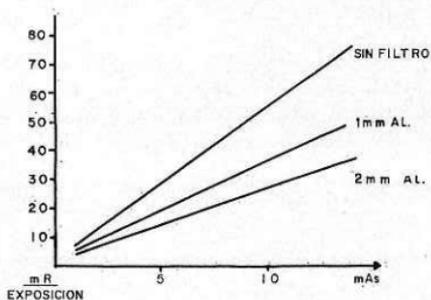
15 A 90 Kv.



13 A 70 Kv.



16 A 100 Kv.



14 A 80 Kv.

20 ó 30 R, según el número de placas de la serie, pues éstos son los que determinan el monto de la dosis más significativa.

Se percibe cómo una vez hechos estos estudios en un servicio de radiología, los médicos y los técnicos, conscientes de los niveles precisos de los riesgos, aplicarán sus procedimientos irradiando al mínimo

a sus pacientes, a los que auxilian en la toma, y a sí mismos; ya entonces podrán dedicar toda su capacidad y todos sus conocimientos para obtener la mayor información y proporcionar el mayor beneficio propiamente médico a su enfermo.

#### REFERENCIAS

1. Chamberlain, R. H., y Nelsen, R. J.: *A practical manual on medical and dental use of X-rays with control of radiation hazards*. The American College of Radiology.
2. Santín, G.: *Radiación a la que está expuesta la población en México. (Exposición de fondo y exposición probable o eventual a las radiaciones ionizantes)*. Rev. Mex. Rad. 40:43, 1959.
3. Buchignani, J. S.; Wagner, W. M., y Howley, J. R.: *Radiation dosimetry in full-chest tomography*. Radiology 99:175, 1971.
4. Hoffman, J. R.; Staiger, J. W.; Wollan, R. O., y Amplatz, K.: *The Minnesota special procedure room*. Radiology 98:551, 1971.
5. Wold, G. J.; Scheele, R. V., y Agarwald, S. K.: *Evaluation of physician exposure during cardiac catheterization*. Radiology 99:188, 1971.
6. Díaz Perches, R.; Maass, R.; Pérez Tamayo, R.; Alvarez Hernández, E., y Halvás, J.: *Mesa redonda sobre protección en radiología*. Rev. Mex. Rad. 40:11, 1960.
7. Pérez Tamayo, R.: *Protección en radioterapia: Co 60 y Cesio 137*. Rev. Mex. Rad. 40:61, 1960.

Que el cerdo desee las setas, las criadillas de tierra, y ante ellas se extasie con su para mí problemático aroma, y las devore con la voracidad que le es propia, se entiende. Pero que el hombre, el sibarita, el gastrónomo, sueñe con ellas, y, lo que más todavía, puje en la subasta para obtener la adjudicación de un *porc à truffes bien dressé*, vivo o salado, cual si se tratara de un rico vaso cincelado por Benvenuto Cellini, o de una pintura de Rembrandt o de Velazquez, no se entiende, digan lo que dijeren los que aman los placeres de la mesa. (Rodríguez, J. M.: *Envenenamiento determinado por un hongo comestible crudo*. GAC. MÉD. MÉX. 7:349, 1872.)