

INSTITUTO DE ONCOLOGIA Y RADIOBIOLOGIA

**Método para la dosimetría del campo radiante de emisores lineales de Ra— 226 en braquiterapia**

Por el Dr.:  
JOSE MARCO HERNANDEZ\*

Marco Hernández, J. *Método para la dosimetría del campo radiante de emisores lineales de Ra 226 en braquiterapia*. Rev Cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

Se ha obtenido un sistema de ecuaciones simplificado para la dosimetría de fuentes de radium—226. El método incluye la técnica de localización espacial mediante radiografías desplazadas, para la reconstrucción tridimensional de las fuentes implantadas, y el cálculo electrónico mediante la computadora CID—201B. Se describe el programa DOSBRA para procesar la información dosimétrica y se muestran ejemplos ilustrativos de la aplicación del método. Los resultados obtenidos se comparan con las tablas dosimétricas publicadas por otros autores, que muestran una buena exactitud del método.

INTRODUCCION

Durante los últimos años se han realizado notables esfuerzos para optimizar e individualizar los métodos de tratamiento radiante en implantaciones intersticiales e intracavitarias, ya sea con fuentes de Ra—226, o sustitutos como Co— 60, Cs—137, Ir—192 o Cf—232. En este sentido las computadoras electrónicas han desempeñado un papel de extraordinaria relevancia.

Para una implantación en particular, el cálculo dosimétrico en puntos aislados posee un valor muy limitado. Su ejecución manual es lenta, tediosa y susceptible de errores groseros. Las características individuales de cada paciente, las múltiples configuraciones geométricas de una implantación, las irregularidades en la posición adoptada por las fuentes una vez implantadas, el gradiente de la intensidad de la dosis extraordinariamente pronunciado en la vecindad de la fuente, son algunos de los factores que hacen extraordinariamente difícil estimar en detalle la distribución dosimétrica en braquiterapia. Por otra parte, una evaluación crítica del tratamiento

\* Especialista en radiofísica médica. Jefe del laboratorio de radiobiofísica. Instituto de Oncología y Radiobiología.

basado en una dosimetría, rápida, precisa y significativa permite corregir a tiempo' una implantación no adecuada y disponer de elementos de juicio para correlacionar el tratamiento con los resultados clínicos.

En el IOR, las fuentes lineales de Ra—226 constituyen el elemento tecnológico fundamental para el tratamiento radiante de las neoplasias malignas del cuello del útero, así como situaciones particulares de otras localizaciones. Al disponer de máquinas CID—201B de fabricación nacional decidimos buscar un método dosimétrico preciso que posibilitara dar cuenta de las distintas formas de implantación, obtener información dosimétrica en diferentes planos de cálculo, poder recurrir o no a métodos de localización radiográfica y a variantes en la forma de procesar y presentar la información. Los cálculos a partir de la integral de *Sievert*<sup>1</sup> nos imponen restricciones en virtud de la capacidad de memoria de la computadora empleada. Por consiguiente, decidimos obtener un sistema de ecuaciones simplificadas consistente en la distribución energética en el campo radiante de fuentes lineales de Ra—226.

El modelo matemático del método se elaboró correlacionando la geometría de las curvas de isodosis con curvas elípticas. Esta similitud es evidente y fue informada por Vaeth y Meurk.<sup>2</sup> Recordando que la suma de las distancias de un punto del lugar geométrico de la elipse a sus focos es una constante, nos podemos plantear metodológicamente, buscar una relación funcional entre estas distancias, tomando los extremos de las fuentes como focos y la dosis correspondiente a cada curva de isodosis. A partir de la información teórica y experimental gráfica y numérica de distintos autores,<sup>3,4</sup> hemos investigado extensamente este posible comportamiento elíptico de las isodosis. Estos datos fueron evaluados mediante la técnica de mínimos cuadrados, procesando la información en una calculadora "Olivetti—Programa"—101. Los datos primarios fueron tomados para fuentes de 1,5 cm de longitud activa y 0,5 mm de espesor del filtro de platino, características éstas que corresponden a las fuentes existentes en el IOR. La posible presencia de escapes de radón y la uniformidad o no de la distribución del polvo de radium en las fuentes fue investigada en otro trabajo mediante la técnica autorradiográfica.

Ecuaciones para la determinación dosimétrica

En virtud de la filtración adicional que experimentan los rayos gamma, que emergen oblicuamente hacia los extremos de la fuente y el gradiente de la intensidad de la dosis en la vecindad de las mismas, ha dado como resultado el siguiente sistema de ecuaciones, en dependencia de la suma S o diferencia R de distancias, medidas en centímetros, de los extremos de las fuentes a cada punto del plano de cálculo:

$$\text{Si } S < 4,2720$$

$$1) \quad D = 0,01 \exp(-5,021740 \log S + 8,386990) \text{ rad/hora}$$

$$\text{Si } 4,2720 < S < 7,1588 \text{ y } R < 1,3927$$

- 2)  $D = 0,01 \exp ( - 5,579890 \log S + 8,708433 ) \text{ rad/hora}$  Si  $S > 7,1588$  y  $R < 1,3029$
- 3)  $D = 0,01 \exp ( - 5,100687 \log S + 8,397812 ) \text{ rad/hora}$

En la región paraxial la intensidad de la dosis no se comporta elípticamente, y hemos obtenido las siguientes ecuaciones:

- |    |       |                      |                          |                              |
|----|-------|----------------------|--------------------------|------------------------------|
|    | Si    | $S > 6,0221$ y       | $R < 1,4538$<br>> 1,3927 |                              |
| 4) | $D =$ | $24,64874 S^{-2} (-$ | $3,70434 \log R +$       | $1,60035 ) \text{ rad/hora}$ |
|    | $S$   | Si $S > 6,0221$ y    | $R > 1,4538$             |                              |
| 5) | $D =$ | $24,64874 S^{-2} (-$ | $27,5440 \log R +$       | $5,5760 ) \text{ rad/hora}$  |

El esquema 1 nos muestra gráficamente las cinco regiones del campo radiante de una fuente lineal de Ra—226, consideradas en el cálculo dosimétrico.

Para fuentes con 1,0 mm de espesor de platino, las ecuaciones 1, 2 y 3 se multiplican por un factor 0,9, mientras que los valores obtenidos con las ecuaciones 4 y 5 se multiplican respectivamente por 0,83 y 0,76.

Al generalizar el cálculo a fuentes de cualquier longitud activa L y carga activa W (mg de radium), las coordenadas (X,Y) de los puntos del plano radiante se transforman en (1,5 X/ L, 1,5 Y / L). La intensidad de dosis se calcula entonces a partir de las ecuaciones anteriores mediante la expresión:

$$D' = 2,25 W L^{-2} D \text{ (rad/hora)}$$

#### Cálculo electrónico

Basándose en las ecuaciones anteriores, confeccionamos el programa DOSBRA, en lenguaje LEAL para la computadora CID—201B. Se trata de un programa versátil, que permite calcular la distribución de isodosis en tres planos de cálculo durante una implantación intersticial o intracavitaria, y adaptable, en particular, a las características específicas de la dosimetría del tratamiento radiante del cáncer del cuello del útero. Mediante este programa y un juego de radiografías desplazadas, podemos efectuar una reconstrucción tridimensional de las posiciones relativas de las fuentes, siguiendo el procedimiento que hemos descrito anteriormente.<sup>5</sup> En el esquema 2 podemos observar el diagrama en bloques de las sentencias de programación.

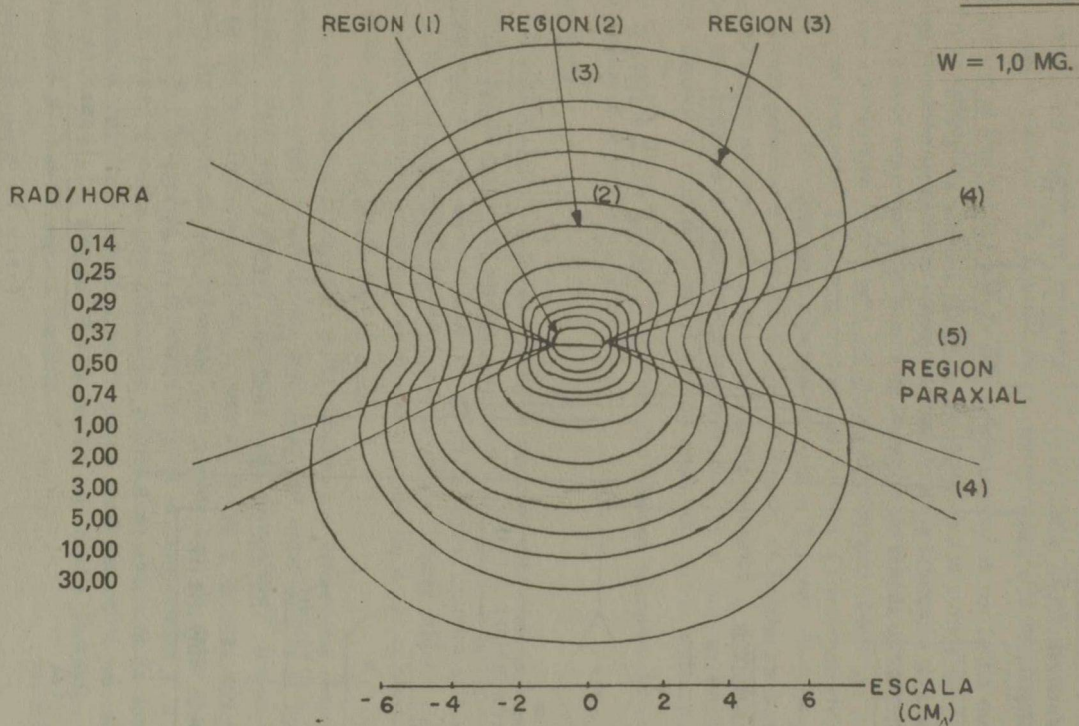
El programa DOSBRA requiere de inicio tres datos básicos en forma codificada, que determinan tres modos de ejecución diferentes, éstos son:

- a) Corrección radiográfica o no de las coordenadas de los extremos de las fuentes.

RADIUM 226: CURVAS DE ISODOSIS

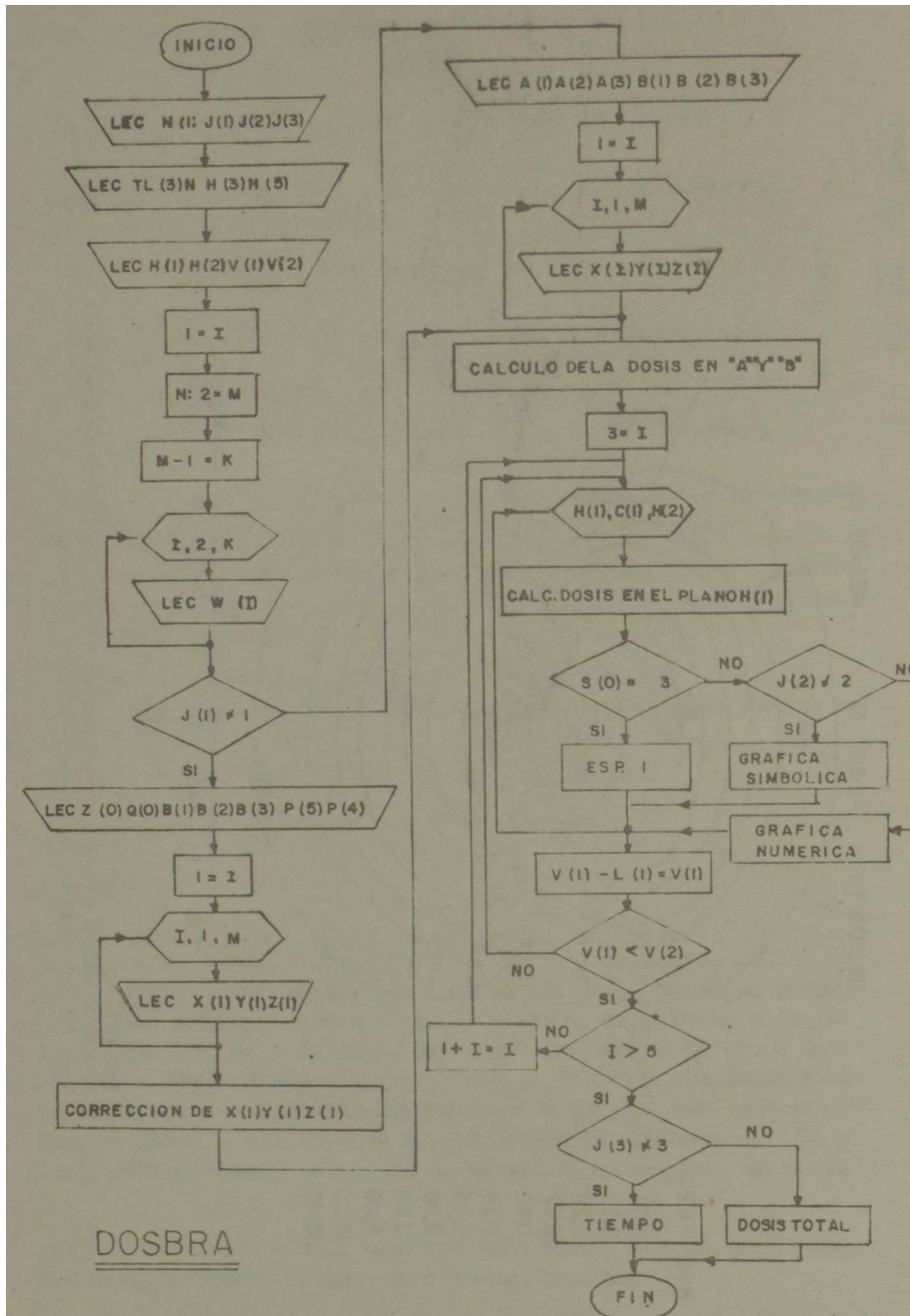
LONG. ACTIVA = 1,5 CM.

FILTRO: 0,05 CMPT.



Esquema 1.

Curvas de isodosis para una fuente lineal de 1 mg de Ra 226 con longitud activa igual 1,5 cm y 0,5 mm de espesor en el filtro de platino.



Esquema 2.  
Diagrama de bloques del programa DOSBRA.

- b) Modo de presentación de las distribuciones de dosis en forma numérica gráfica o simbólica.
- c) Selección de la forma de respuesta final del programa indicando la dosis absorbida total en la localización considerada o el tiempo requerido para entregar determinada dosis.

A continuación se dan los datos generales del tratamiento. Si se realiza la localización radiográfica es necesario dar las coordenadas (X,Y) de las fuentes en la radiografía directa, y la coordenada Y' de la radiografía desplazada.

El programa informa las coordenadas tridimensionales corregidas para todas las fuentes. Determina la dosis en rad y en gray, en los puntos de interés clínico.

A continuación se inicia un proceso de cálculo de la intensidad de la dosis en cada uno de los planos elegidos. Cada punto de la región de interés es identificado en términos de sus coordenadas (X,Y) para los cuales el programa determina la suma y diferencia de distancias a los extremos de las fuentes. El intervalo de cálculo a lo largo de cada línea es aproximadamente igual a 2,0 mm. Si el punto del plano de cálculo coincide con la posición de la fuente, el impresor salta un espacio y continúa representando las isodosis en forma numérica o simbólica mediante caracteres alfa—numéricos. Finalmente responde cuál es el tiempo requerido para la dosis deseada o cuál debe ser el tiempo requerido por el tratamiento total.

En el cuadro y las figuras<sup>1,2,3</sup> se muestran algunos ejemplos del cálculo dosimétrico mediante el programa DOSBRA.

#### Exactitud

La intercomparación de la intensidad de dosis en diferentes puntos calculada con nuestras ecuaciones y los valores publicados por Stovall y Shalek<sup>3</sup> indican una consistencia interna con un error + 1 % en la región opuesta a la longitud activa de la fuente, que representa la región de mayor interés clínico. En algunos puntos a distancias del centro de la fuente mayores de 4 cm o menores de 0,75 cm se observan errores de + 4%.

En la región paraxial algunos valores difieren con errores del orden de + 6%. Debemos tener presente que tablas publicadas por otros autores como Young,<sup>6</sup> Quimby,<sup>7</sup> Patterson y Parker,<sup>8</sup> Kemp y Hall,<sup>9</sup> Greenfield<sup>10</sup> fueron calculadas en su época utilizando unidades, constantes físicas y factores que el decursar del tiempo ha modificado notablemente con la obtención de datos experimentales más precisos. Por otra parte, en la región paraxial la contribución a la dosis entregada en un punto presenta una atenuación adicional en virtud de la autoabsorción de fuentes en *tándem* o interposición de partes metálicas como las tapas de los aplicadores en forma de ovoides. Por tanto, en esta región podemos considerar, mayor tolerancia al nivel de errores presente.

#### CONCLUSIONES

Se ha obtenido un sistema simplificado de ecuaciones para la dosimetría de fuentes lineales de Ra—226. Se introduce el empleo del gray, nueva unidad SI de

CUADRO  
PRESENTACION DE LA INFORMACION DE SALIDA DEL PROGRAMA DOSBRA

SPERAC LI(1) = 0,400 C(1) = 0,452  
DOSIMETRIA LABORATORIO DE RADIOBIOFISICA PROGRAMA DOSBRA

HISTORIA CLINICA NUMERO 111111 CALCULO DE LA

INTENSIDAD DE DOSIS

PUNTO:	( 0,0	4,0	10,0 )	INTENSIDAD:	0,0046	GRAY/HORA	
A				0,4630 RAD/HORA =			
A	1 2,0	3,0	10,0 )	0,5833	RAD/HORA =	0,0058	GRAY/HORA
A	1 1,0	2,0	10,0 )	1,4433	RAD/HORA =	0,0144	GRAY/HORA
A	1 0,0	1,0	10,0 )	5,9500	RAD/HORA =	0,0595	GRAY/HORA
A	( 3,0	0,0	10,0 )	0,4969	RAD/HORA =	0,0050	GRAY/HORA
A	( 2,0	1,0	10,0 )	1,5588	RAD/HORA =	0,0156	GRAY/HORA
PARA UN	TIEMPO	DE	IMPLANTACION IGUAL	A	100 HORAS		

LA DOSIS EN EL PUNTO A ES IGUAL A 46 2977 RAD = 0 4630 GRAY

FIN DEL CALCULO DOSIMETRICO - DOSBRA SPERAC LUI = 0,400 C(1) = 0,452

DOSIMETRIA LABORATORIO DE RADIOBIOFISICA PROGRAMA DOSBRA

dosis absorbidas, lo cual contribuye a su familiarización y actualización en radioterapia. El sistema de ecuaciones en cuestión nos ha permitido mayor grado de libertad al programar el cálculo electrónico de la dosimetría de múltiples variantes y modalidades terapéuticas. El programa DOSBRA posee suficiente flexibilidad para dar cuenta de las distintas configuraciones geométricas de las fuentes radiantes. Dado que distancias del orden de dos a tres milímetros son críticas en implantaciones intersticiales, y cinco milímetros lo es para implantaciones intracavitarias, el reticulado de cálculo del programa permite la aplicación general del método a uno u otro caso, con diferentes espesores de filtraje y longitudes activas de las fuentes. Por otra parte, el empleo de máquinas de cálculo CID—201B, representa, en nuestro medio nacional una economía de costos. Los errores inherentes al método se encuentran dentro de un rango aceptable. Al mismo tiempo la incorporación de la técnica de localización espacial mediante radiografías desplazadas permite mayor precisión en la determinación de las posiciones relativas de las estructuras anatómicas, fuentes y puntos de interés clínico.

Por consiguiente, se ha desarrollado un método dosimétrico versátil, económico y de una buena exactitud, que nos permite obtener a partir de datos de entrada muy sencillos, una expresión significativa y en detalle de la compleja distribución de dosis en el campo radiante de fuentes lineales de Ra-226, que hace plausible responder en forma rápida y automática a situaciones variables que afrontará el radioterapeuta, lo que contribuye a la solución del problema de la individualización y optimización de tratamientos en braquiterapia.

PLANO Z " 12,00 CM

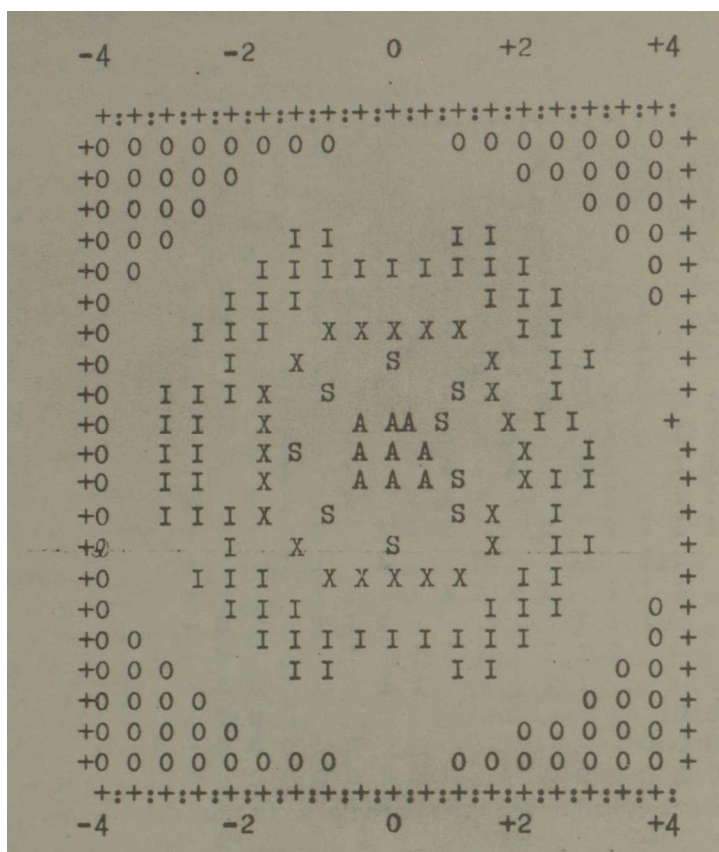


Figura 2.  
En la representación simbólica de las isodosi\* se ha empleado el siguiente código:

- A: 100%
- N: 99% - 80%
- S: 79% - 70%
- X: 59% - 50%
- I: 39% - 30%
- 0: 19% - 10%



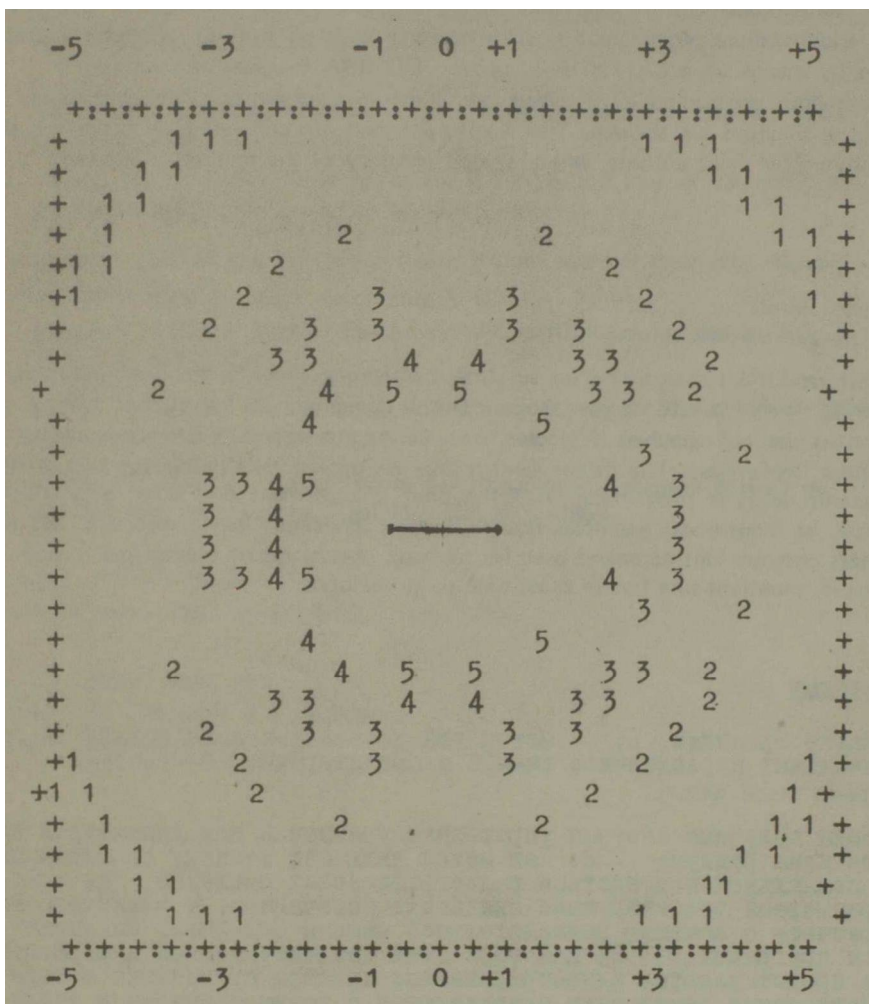


Figura 3.  
Representación numérica de la distribución de isodosis en un plano situado a 2 cm de fuente de 1 mg de *radium* 226 y 13 cm de longitud activa.

SUMMARY

Marco Hernández, J. *Method for radiant field dosimetry of 226Ra linear emissions for brachithrapy.* Rev Cub Med (Supl.) 21. 1, 1982.

A simplified equation system for <sup>226</sup>Radium sources dosimetry has been obtained. The method includes the technique for spacial location by displaced X-ray films, for tridimensional reconstruction of introduced sources, and for electronic calcularon by means of a CID-201B Computer. DOSBRA program for dosimetric information proceeding is described, and illustrative examples demonstrating the method application are showed. The results obtained are compared to dosimetric tables published by other authors, where a good accuracy of the method is showed.

RESUME

Marco Hernández, J. *Méthode pour la dosimétrie du champ radiant d'emetteurs de ra-226 en brachithérapie.* Rev Cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

Il est rapporté l'obtention d'un système d'equations simplifié pour la dosimétrie de sources de radium-226. La méthode inclut la technique de localisation spatiale mo- yennant des radiographies déplacées, pour la reconstruction tridimensionnelle des sources implantées, et le calcul électronique au moyen de l'ordinateur CID—201B. L'auteur décrit le programme DOSBRA pour le traitement de l'information dosime trique, et montre des exemples illustratifs de l'application de la méthode. Les ré- sultats obtenus sont comparés avec les tableaux dosimétriques publiés par d'autres auteurs, montrant une bonne exactitude de la méthode.

PESIOME

MapKO SpHaanec, X. MeTOj; jyiH fl03HM6TpnH noJiH oÓJijnieHiia jih HeajiBmix nepeaaTiHKOB pa-226 b ópaxMTepaiuu. Rev cub Med (Supl.) 21: 1, 1982.

Bujia nojry^eHa CHCTeMa ynpaméHHaH ypaBHeHH# vjw it03HMeTpHB hc TOTOHKa pajmyMa- 226. Ham motoe BJuroqaeT TexHUKy jrokajrasankH cnenEajiiiHoft nocpeacTBOM pajiaoipaiiiaHeckfix CMemeHM, jijm TpeX- pa3MepHOH peKOHCToyKÜHH BBeñeHHHX. HCTO^IHKKOB. 0 3JieKTpoHHoro pac-qeTa c nomomi>10 BjaiojiHTejibHoli MamHHH CHñ; 0IB. OpmcHBaer- ch nporpaMMa JIOGBPA jyw ofipaobTKH HD3HMe?pjneckon HH\$opMaunH o npeBCTaBttHOTCH OJyocTpaipoBaHHHa npaMepu, npHMeHeHHH, MeTo^a. Ilojy^eHHHe pesvatTu cpaBrasaioten c i03HMeTpH^eckHMH Ta0Jia- EtaMO, Ony.TKKOBaHHHMH flpyTHMH 8BT0paMH. CpOBHeHHe flajIO BHCO - Kyc TO^HOCTS MOTOJia.

BIBLIOGRAFIA

1. Sievert, R.M. Die Gamma—Strahlungaintensitat a der Oberfläche und in der nächsten Umyebung von radiumnadeln.Acta Radiol 11: 249, 1930.

2. *Vaeth, J.M., M.L. Meurk.* Use of the Rotterdam radium reconstruction device. Am J Roentgenol 89: 87, 1963.
3. *Shalek, R., AL Stovaii.* The M.D. Aderson method for the computation of isodose curves around interstitial and intracavitary radiation sources. Am J Roentgenol 102: 662, 1968.
4. *Stovall, M. et al.* Atlas of radiation dose distributions. Vol. IV Brachytherapy Isodose Charts. Sealed Radium Sources. IAEA, Vienna, 1972.
5. *Marco, J. Jiménez.* **Dosimetría de la radioterapia del cáncer del cuello del útero. Rev Cub Med 15: 551, 1976.**
6. *Young, M.; H. Batho.* Dose tables for linear radium sources calculated by electric Computer. Br J Radiol 29: 632, 1956.
7. ♦ *Quimby, E.H.* Dosage tables for linear radium sources. Radiology 43: 592 1944.
8. *Patterson, R.; H.A. Parker.* Dosage system for Gamma-ray therapy. Br J Radiol 7: 592, 1934.
9. *Kemp, I.; S. Hall.* Dosage charts and isodose curves for the standard radium sources. Br J Radiol 25: 339, 1952.
10. *Greenfield, M. et al.* Dosage tables for linear radium sources filtered by 0,5 and 1,0 mm of platinum. Radiology 73: 418, 1959.

Recibido: mayo 5, 1980.

Aprobado: septiembre 14, 1980.

Dr. *José Marco Hernández*  
 Instituto de Oncología y Radiobiología  
 29 y F, Vedado. La Habana.