

PLANIFICACION DE TRATAMIENTOS EN RADIOTERAPIA MEDIANTE TECNICAS DE SIMULACION MONTE CARLO

D. Venencia,

Fundación Médica de Río Negro y Neuquén, Mengelle 273, Cipolletti, Río Negro.

G. Vélez,

Unidad de Radioterapia Oncológica e Hipertermia, Hospital San Roque, Ituzaingó 575, 5000 Córdoba.

M. Rubio

*Facultad de Matemática, Astronomía y Física (FAMAF), Universidad de Córdoba,
Laprida 854, 5000 Córdoba.*

M. Ferraris

Unidad de Radioterapia Oncológica e Hipertermia, Hospital San Roque, Ituzaingó 575, 5000 Córdoba.

Este trabajo introduce un método alternativo para determinar distribuciones de dosis en radioterapia utilizando la técnica de Monte Carlo no-análoga en combinación con los fantomas matemáticos antropomorfos, masculino y femenino del GSF.

Esto nos permite obtener las dosis absorbidas por los órganos del fantoma y distribuciones dentro y fuera de la proyección geométrica del haz.

Es simulada una fuente externa emisora de fotones de hasta 1250 KeV (Co-60), apropiada elección de SSD, tamaño y forma de campo. El fantoma tiene estructuras y órganos bien definidos tomándose en cuenta cinco medios distintos.

Este trabajo presenta los resultados obtenidos con la simulación de:

- 1) Pelvis 3 y 4 campos.
- 2) Medistino por 2 campos opuestos y paralelos.

INTRODUCCION

El uso de computadoras en planificaciones para radioterapia es ahora muy difundido y muchos algoritmos han sido propuestos para la obtención de distribuciones de dosis. En este trabajo desarrollamos un programa de computación que nos permite calcular distribuciones de dosis en radioterapia mediante el uso de la técnica Monte Carlo análoga. Este programa permite obtener además la dosis absorbida en cualquier órgano o región del cuerpo, dentro o fuera de la proyección geométrica del haz.

El programa fue desarrollado en base al realizado por Pani ⁽¹⁾ para radiología diagnóstica y adaptado para trabajar en una MICRO VAX II en lenguaje Fortran. Este utiliza los fantomas matemáticos de sexo específico del GSF (Adam y Eva).

Tenemos entonces una importante herramienta que nos permite enriquecer las planificaciones de tratamiento actuales. Por un lado un fantoma que tiene en cuenta la verdadera composición de los tejidos (no homogéneo), y por el otro lado la técnica

de Monte Carlo un algoritmo 3-D, sensible a regiones de diferente densidad.

La situación física simulada aquí puede ser descrita en dos pasos:

- (1) Una fuente externa de radiación que emite fotones con energía de hasta 1250 KeV y con una apropiada elección del SSD, tamaño y forma de campo.
- (2) La radiación que entra en el fantoma sufre interacciones electromagnéticas en los diferentes tejidos.

DESCRIPCION DE LOS FANTOMAS MATEMATICOS

Los fantomas matemáticos heterogéneos, de sexo específico del GSF (Adam y Eva), contienen 24 órganos internos, cada uno de los cuales está caracterizado por ecuaciones cuadráticas, planos, etc. Una vista exterior de los fantomas es mostrada en la Fig. 1, y una vista anterior de los principales órganos de la cabeza y el tronco se muestran en la Fig. 2.

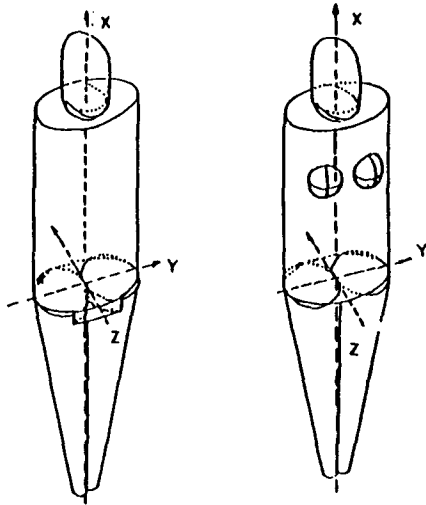


Figura 1: Aspecto externo de los fantasmas de sexo específico en un sistema de coordenadas tridimensional.

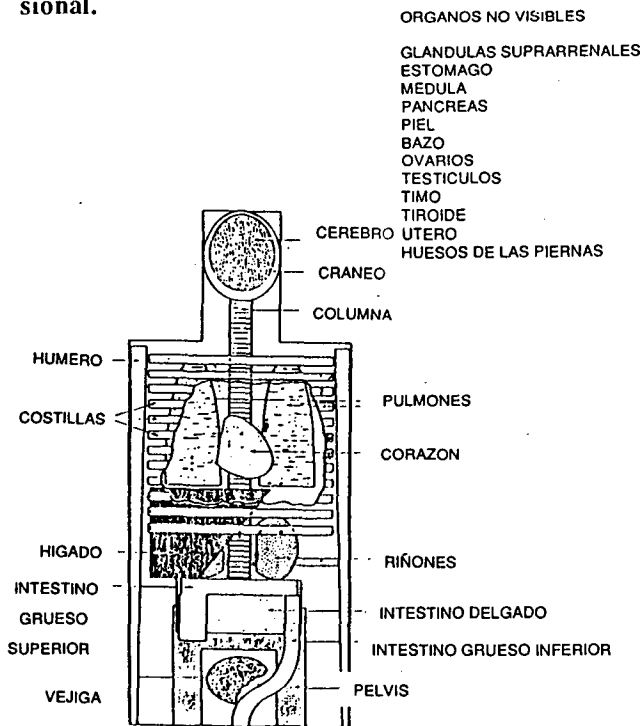


Figura 2: Vista desde adelante de los principales órganos en la cabeza y tronco del fantoma.

Los volúmenes y masas de los distintos órganos están basados en valores promedios dados por el ICRP 23.

Se han considerado cinco regiones de distinta composición y densidad para el esqueleto, pulmón, piel, tejido blando y agua. La composición elemental de estas figuras en la Tabla 1.

LA TECNICA MONTE CARLO

La técnica Monte Carlo permite determinar las historias de los fotones a través de los coeficientes de atenuación másicos $\mu_p(E)$ y $\mu_c(E)$ para interacciones fotoeléctricas y Compton respectivamente.

El sitio potencial de interacción es elegido a través del procedimiento usual de considerar la distancia recorrida como:

$$d = (- \ln R) / \mu_0$$

en donde R es un número aleatorio entre (0-1) y μ_0 es el coeficiente de atenuación másico del tejido óseo. Determinada la región de interacción, ésta es considerada en base al cociente μ_i/μ_0 donde μ_i es el coeficiente de atenuación másico total de la región i. Una nueva energía y dirección son elegidas en base a la sección eficaz diferencial de Klein-Nishima. El ángulo polar y azimutal de dispersión son determinados a través de los algoritmos de Khan y Neumann respectivamente. La absorción debida a interacción fotoeléctrica es simulada considerando la reducción del peso estadístico asociado al fotón.

$$W_n = W_{n-1} [1 - \mu_p(E_{n-1}) / \mu(E_{n-1})]$$

Las historias de los fotones son desechadas si

- (1) escapan del fantoma
- (2) si su energía es menor que 1 KeV
- (3) si su peso es menor que 10^4 .

La energía depositada en la n^{th} interacción esta dada por

$$E_d = \left[\left(1 - \mu_p(E_{n-1})/\mu(E_{n-1}) \right) (E_{n-1} - E_n) + E_{n-1} \left(\mu_p(E_{n-1})/\mu(E_{n-1}) \right) \right]$$

En este programa se asume que la energía liberada es absorbida en el mismo punto de interacción, esto es, kerma igual a dosis. Por otra parte, la producción de pares y el rango finito de los electrones no ha sido tomada en cuenta. Finalmente el *bremstrahlung* fue despreciado.

ESQUEMA DOSIMETRICO

La obtención de distribuciones de dosis se logra a través de la consideración de un volumen cúbico

de dimensiones variables de acuerdo con las necesidades del caso. Este es situado en la zona de interés y dividido en pequeños grupos de 1 cm^3 $(\Delta V)^2$. La energía depositada allí forma parte de una matriz computacional 3-D con respecto a un sistema de coordenadas fijo en el fantoma. El tamaño de los elementos de volumen ΔV tiene en cuenta el rango de los electrones secundarios de mayor energía. De esta manera es calculada la dosis absorbida promedio en el "volumen de tratamiento", y este valor es usado para obtener la dosis en los distintos órganos y regiones del fantoma.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Primeramente se realizaron simulaciones en un fantoma de agua homogéneo, obteniéndose que los PDD y D_T / D_{piel} concordaban con valores tabulados dentro de un margen de error del 2%.

Fueron simulados los siguientes tratamientos radiantes:

(1) Pelvis por 3 y 4 campos.

La Fig. 3 muestra los perfiles de dosis obtenida con tres campos y la Fig. 4 la distribución de dosis correspondiente, (Ref. 3-7).

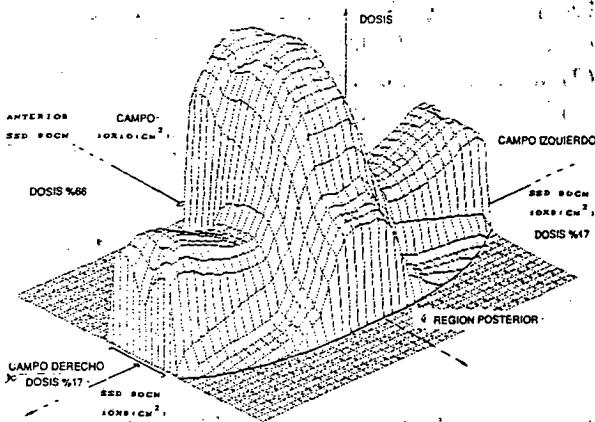


Figura 3: Niveles de dosis para tratamiento de pelvis con tres campos.

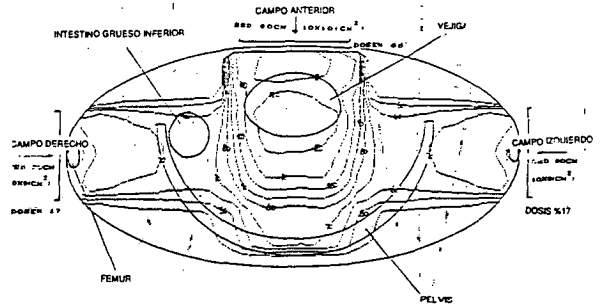


Figura 4: Niveles de dosis para tratamiento de pelvis con tres campos.

Los valores de dosis en los distintos órganos son representados en las Tablas 2, 3 y 4.

(2) Mediastino por 2 campos opuestos y paralelos. La Fig. 4 nos muestra la distribución de dosis y la Tabla 5 y 6 la dosis en los órganos del fantoma.

CONCLUSIONES

Como puede verse en las distribuciones de dosis, existe una amplia concordancia con las que se obtienen a partir de la composición de curvas de isodosis medidas en agua y adecuadamente corregidas. En el caso en que importantes heterogeneidades se hacen presente (pulmón) comportamientos no comunes son observados.

Finalmente, si bien estamos limitados por un modelo matemático, los valores de dosis en los órganos del fantoma pueden ayudar en las más variadas situaciones de irradiación, como por ejemplo un embarazo.

ELEMENTO	ESQUELETO ^(a) (+médula)	PULMONES ^(b)	TEJIDO ^(c) BLANDO	PIEL ^(d)
H	7.0	10.0	10.47	10.22
C	23.0	10.0	23.02	26.93
N	3.9	2.8	2.34	4.26
O	49.0	74.9	63.2	58.04
Na	0.32	0.19	0.13	0.012
Mg	0.11	0.0074	0.015	0.0054
P	6.9	0.081	0.24	0.31
S	3.17	0.23	0.22	0.15
Cl	0.14	0.27	0.14	0.253
K	0.15	0.20	0.21	0.0
Ca	9.9	0.007	0	0.14
Fe	0.008	0.037	0.0063	0.0015
Zn	0.0048	0.0011	0.0032	5.4×10 ⁻⁴
Rb	0	3.7×10 ⁻⁴	5.7×10 ⁻⁴	2.1×10 ⁻⁷
Sr	0.0032	5.9×10 ⁻⁶	3.4×10 ⁻⁵	6.6×10 ⁻⁵
Zr	0	0	8.0×10 ⁻⁴	1.8×10 ⁻⁴
Pb	0.0011	4.1×10 ⁻⁵	1.6×10 ⁻⁵	2.8×10 ⁻⁵

Tabla I: Composición elemental de diferentes regiones en el fantoma.

* DENSIDAD: (a) 1.4862 gr/cm³ (b) 0.2958 gr/cm³
(c) 0.9869 gr/cm³ (d) 1.105 gr/cm³

ORGANO	DOSIS ABS [cβy]
Riñones	3
Vejiga	1049
Estómago	2
Intestino delgado	24
Intestino grueso (porción inferior)	215
Hígado	2
Páncreas	2
Testículos	13
Pelvis	150
Piel Anterior	1200
Piel posterior	480
Piel Lat. Derecho	600
Piel Lat. Izquierdo	600

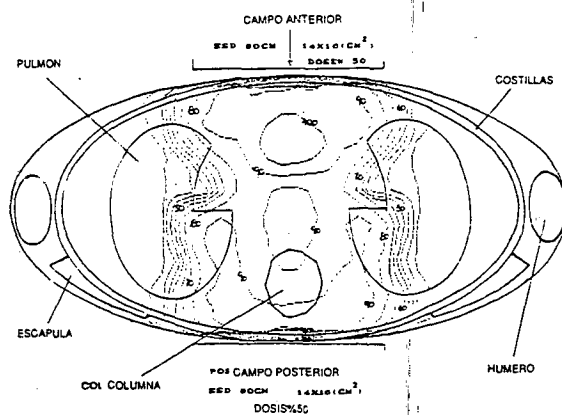


Tabla II: Ejemplo de irradiación de vejiga por tres campos Fantoma Masculino (ADAM).

Figura 5: Distribución de dosis para dos campos opuestos paralelos en el mediastino

REFERENCIAS

1. R. Pani, P.L. Ballesio, R. Pellegrini, A. Soluri. NIM A257 (1987) 360-364.
2. G. Williams, W.P. Swanson, P. Kragh and G. Drexler. " Calculation and Analysis of Photon Dose Equivalent Distribution in the ICRU Sphere", 1983.
3. International Atomic Energy Agency. " Atlas of Radiation Dose Distribution", 1965.
4. R. Kramer, M. Zankl, G. Williams and G. Drexler. " The Calculation of Dose from External Photon Exposure Using Reference Human Phantom and Monte Carlo Method", 1982.
5. Elleth W. H., Callaham A.B., Brownell G.L. - Br. J. Radiol., 27,45,1969.
6. Reddy A. R., Elleth W.H., Brownell G. L. -Br. J. Radiol, 40, 512, 1967.
7. Koblinger L., Zarand P. Phys. Med. Biol., 18, 518, 1973.
8. Johns, Cunningham. " The Physics of Radiology", 1983.

PROPIEDAD CONICET	
Programa de Apoyo a Bibliotecas	
5/12/92	
Fecha rec	
BIBLIOTECA	ALA
Nº INV	