

# METODOLOGÍA PARA LA VERIFICACIÓN DE LA DOSIS PLANEADA EN PACIENTES A IRRADIARSE CON CAMPOS ASIMÉTRICOS REGULARES EN ACELERADORES LINEALES

Ernesto Jiménez Sotomayor<sup>1</sup>, Rosalía Durán Sarduy<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Físico, 2000.

<sup>1</sup>Magister en Física Médica, 2002

<sup>2</sup>Directora de Tesis, Doctora en Ciencias Físicas 1969, Postgrado en la Academia de Ciencias de la URSS (1986), Postgrado en la Academia de Ciencias de Bulgaria (1984), Postgrado en el Instituto Gustave Roussy (1989), Profesor del ISCTN Habana (1990), Jefe del Departamento de Física Médica y Seguridad Radiológica de SOLCA Guayaquil desde el 2001.

## RESUMEN

Se implementa un método rutinario para calcular las tasas de dosis en campos regulares asimétricos con o sin cuña; y en última instancia, las unidades monitoras de los planes de tratamiento con haces de rayos x de 6 y 18 MV con un acelerador lineal Mevatron K. Se encuentra un formalismo para el cálculo de tasas de dosis y se determinan experimentalmente los factores pertinentes al mismo, para lo cual se utilizan únicamente razones de dosis en el eje central<sup>1</sup>.

## INTRODUCCIÓN

Un colimador de mordazas asimétricas tiene una o más mordazas que pueden moverse independientemente de las demás. Esto permite el bloqueo de una porción del campo de un lado sin afectar a la configuración de la mordaza opuesta. Este rasgo encuentra muchas aplicaciones clínicas. Puede ser utilizado para cambiar asimétricamente las dimensiones del campo, el ajuste de campos adyacentes y también hemibloqueos que permiten eliminar la divergencia del haz en la unión de campos. Aunque estas funciones tradicionalmente se han efectuado con protecciones de cerrobend colocadas sobre parrillas, las mordazas independientes permiten reducir ostensiblemente el tiempo de posicionamiento del paciente evitando que el tecnólogo médico manipule bloques pesados.<sup>2, 3, 4</sup>

Normalmente, tanto los cálculos de dosis como las distribuciones de isodosis requieren de datos básicos que se miden en condiciones de colimación simétrica. Sin embargo, una configuración de mordazas asimétricas, produce cambios en la dosis en profundidad que no pueden predecirse con

facilidad. En este trabajo se establece un método que permite calcular de manera práctica la tasa de dosis en un punto cualquiera dentro de campo asimétrico regular y en última instancia, determinar las unidades monitoras en los planes de tratamiento; como parte de los procedimientos de control de calidad que se llevan a cabo en el Departamento de Física Médica y Seguridad Radiológica del Instituto Oncológico Nacional, previo a la ejecución del plan de tratamiento.

## CONTENIDO

### A. FORMALISMO PARA EL CÁLCULO DE LA TASA DE DOSIS

Por modificación del formalismo para el cálculo de la tasa de dosis para campos simétricos, se hace extensiva su aplicación para campos asimétricos regulares, mediante la incorporación de la razón fuera del eje central para campos abiertos  $OCR$  o para campos con cuñas  $(W)OCR$ , los cuales toman en cuenta los cambios en la calidad del haz debido al endurecimiento diferencial del haz de fotones en el filtro aplanador del acelerador. Entonces, la tasa de dosis en un punto  $r$  medido desde el eje del colimador se calcula como:

$$\dot{D}_{asim}(S_T, d, r, f_T) = \dot{D}_{sim}(S_T, d, f_T) (W)OCR(S_T, d, r) \quad (1)$$

$\dot{D}_{sim}(S_T, d, f_T)$  es la tasa de dosis para un campo simétrico de tamaño  $S_T$  a la profundidad  $d$  ubicado a una distancia  $f_T$  desde el foco, de acuerdo al formalismo determinado por Marinello y Dutreix<sup>5</sup>.

La razón fuera del eje central  $OCR$  se determina mediante la técnica sugerida por Chui y Mohan<sup>6</sup> según la cual se la considera como el producto de dos componentes: *un perfil primario (POCR)*, que describe el perfil del haz para un campo infinito, y un *factor de frontera (BF)*, que describe la forma del perfil del haz en la región del borde del campo definido por las mordazas del colimador.

$$(W)OCR = POCR(d, r) * WPF(d, l) * \prod_i BF(s_i, d, w, h), \quad (i = 1..4) \quad (2)$$

Los  $POCR(r, d)$  se determinaron por el método de corrección de borde de campo propuesto por Cadman<sup>7, 8</sup>

$$POCR(d, r) \approx FCP(d, r, 40) \approx \frac{OCR(d, r, 40)}{FEC(d, +m, 40)^2 FEC(d, -m, 40)^2} \quad (3)$$

donde

$$FEC(d, \pm m, 40) = \sqrt[4]{\frac{S_{cp}(d_{ref}, 40 \pm 2m)TPR(d, 40 \pm 2m)}{S_{cp}(d_{ref}, 40)TPR(d, 40)}}$$

y  $r = \sqrt{2}m$  bajo el supuesto de que el haz tiene simetría radial, y  $m$  es el valor de una de las componentes del punto  $r$  sobre la diagonal del campo de  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ .

Los factores de dispersión en el maniquí y colimador  $S_{cp}$  así como las razones tejido-maniquí  $TPR$  para campos superiores a  $40 \times 40 \text{ cm}^2$  se determinaron por extrapolación de los factores obtenidos experimentalmente para campos inferiores a  $40 \times 40 \text{ cm}^2$ .

Los factores de perfil de cuña  $WPF(l, d)$  se calcularon por el cociente entre la razón fuera del eje central para un campo abierto del tamaño más grande posible en que se permite utilizar la cuña, a la distancia  $l$  desde el eje central y a la profundidad  $d$  ( $OCR(l, d)$ ) y, la razón fuera del eje central para el campo con cuña en las mismas condiciones en las que se mide el  $OCR(l, d)$  <sup>6</sup>.

Los factores de frontera  $BF$  se obtuvieron midiendo los perfiles del haz en un plano central a algunas profundidades, para algunos anchos y largos de campo y dividiéndolo por los  $POCR$  a la profundidad correspondiente <sup>6, 8</sup>.

## B. RESULTADOS EN LOS CÁLCULOS DE TASAS DE DOSIS PARA CAMPOS ABIERTOS

Para cada una de las técnicas de irradiación, esto es técnica fija ( $SSD$ ) y técnica isocéntrica ( $DFI$ ), se diseñaron dos tipos de medición, los cuales tuvieron por objetivo discriminar la idoneidad de los factores de frontera  $BF$  así como los del perfil primario  $POCR$ , en combinación con el formalismo para el cálculo de la tasa de dosis. En cada caso, una de las mordazas independientes (la  $X1$ ) se mantuvo estacionaria en  $+10 \text{ cm}$ , mientras que la opuesta (la  $X2$ ) se mueve hacia el eje central del colimador y aun más allá. Para cada configuración de las mordazas, se midieron las tasas de dosis a diferentes profundidades, en particular en el centro del campo proyectado (denotado como  $COF$ ) y en el eje de rotación del colimador (denotado como  $CAX$ ). Las tasas de dosis se midieron con el sistema de dosimetría Wellhöfer, utilizando una cámara de ionización IC-15, cuyas lecturas se normalizaron a la

lectura de calibración obtenida con una cadena dosimétrica debidamente calibrada, en concordancia con el TRS-277<sup>9</sup>.

En las figuras 1 y 2 se muestran los resultados encontrados para 6 MV y 18 MV respectivamente, las barras de error en su orden representan el  $\pm 1\%$  y  $\pm 2\%$  del valor medido. En ambas energías se incluyen además las tasas de dosis calculadas por el sistema de planificación Helax del Departamento de Física Médica de Solca.

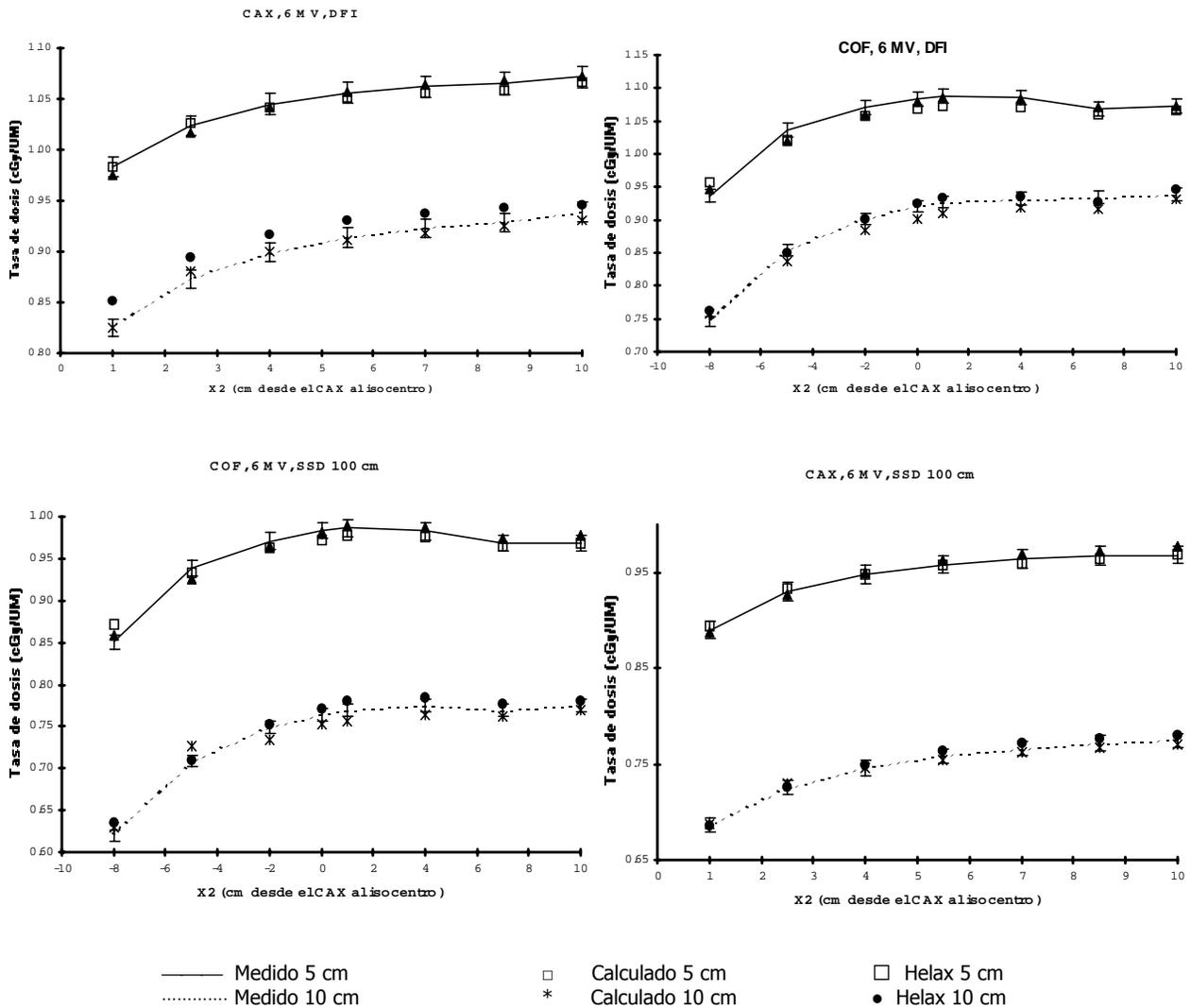


Figura 1

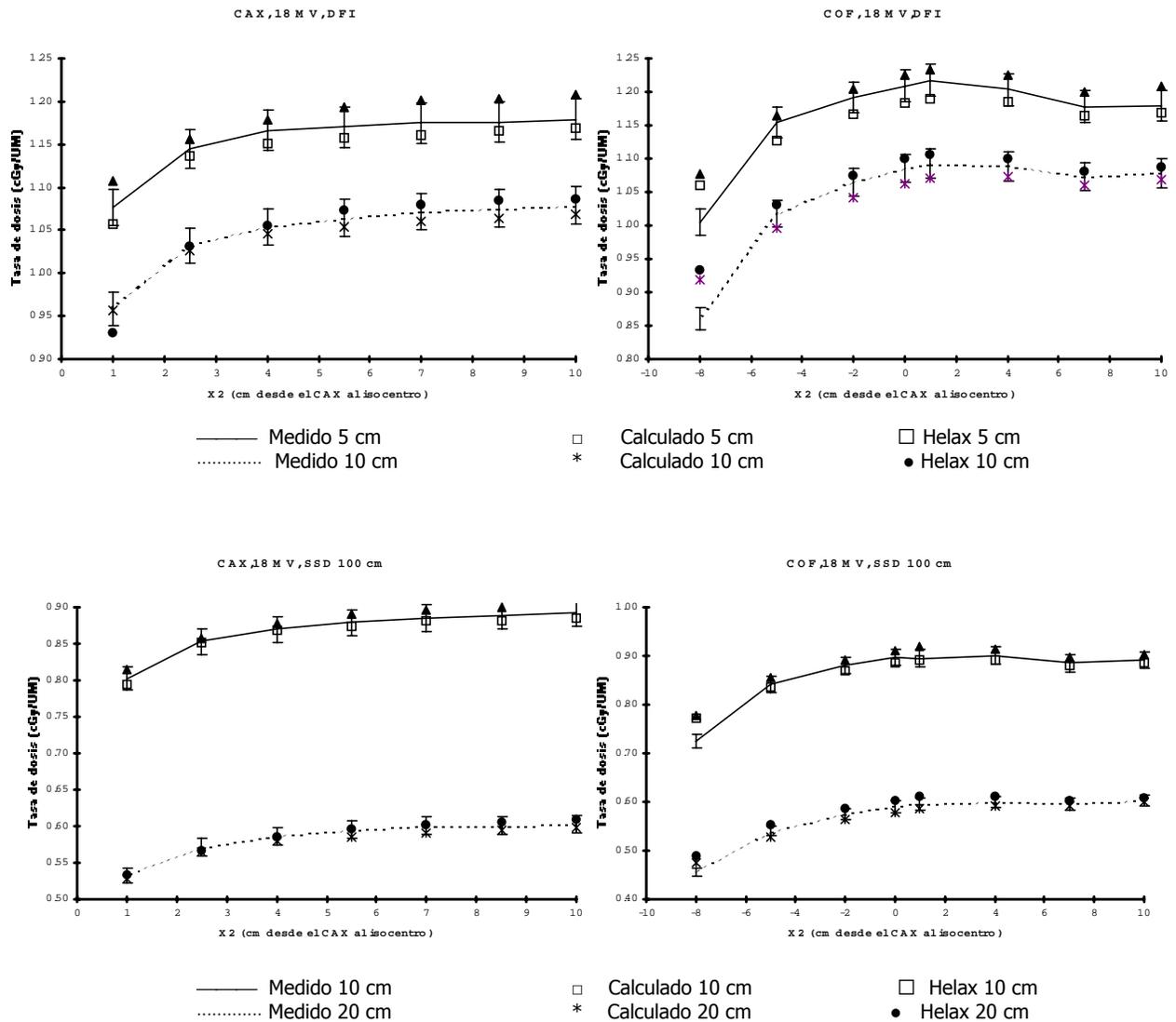


Figura 2

De los resultados encontrados en este apartado se desprende que, todos los cálculos llevados a cabo con el formalismo para campos asimétricos son menores a los que se han encontrado por medición directa y estos a su vez son inferiores a los que calcula el sistema Helax, lo cual indica que el formalismo propuesto subestima las tasas de dosis en campos abiertos, en tanto que el sistema de planificación las sobrestima. En otras palabras, se diría que al verificar de forma rutinaria los cálculos efectuados por el sistema Helax, existe una banda de discrepancia entre ambos cálculos que debe ser aceptada, por ser inherente al método de cálculo de cada uno de ellos.

### C. RESULTADOS EN LOS CÁLCULOS DE TASAS DE DOSIS EN CAMPOS CON CUÑAS

Se configuró un campo hemibloqueado de 20x10 cm<sup>2</sup> con X = 20 cm, Y1 = 0 cm, Y2 = 10 cm. Las tasas de dosis se midieron en un punto fijo fuera del eje central  $l = +1.5$  cm y  $l = +5$  cm, a una profundidad de 10 cm y técnica isocéntrica  $DFI = 100$  cm.

En la tabla I se muestran los resultados obtenidos con cada una de las energías. Con fines comparativos también se han incluido las tasas de dosis calculadas por el sistema Helax en un maniquí homogéneo de densidad 1.0, en iguales condiciones que en las de medición.

TASAS DE DOSIS EN CAMPOS CON CUÑAS							
Fotones	$l$ (cm)	Cuña	Medido (cGy/UM)	Calculado (cGy/UM)	Diferencia (%)	Helax (cGy/UM)	Diferencia (%)
6 MV	1.5	No	0.829	0.844	1.9	0.831	0.3
		15	0.556	0.558	0.4	0.557	0.2
		30	0.420	0.417	-0.8	0.420	0.0
		45	0.245	0.243	-0.9	0.243	-0.9
		60	0.251	0.254	1.2	0.247	-1.6
	5.0	No	0.916	0.905	-1.2	0.918	0.2
		15	0.576	0.562	-2.5	0.572	-0.8
		30	0.414	0.400	-3.3	0.410	-0.9
		45	0.225	0.220	-2.1	0.222	-1.2
		60	0.203	0.209	3.0	0.200	-1.5
18 MV	1.5	No	0.963	0.991	2.9	1.000	3.8
		15	0.713	0.730	2.4	0.738	3.5
		30	0.571	0.584	2.3	0.590	3.3
		45	0.369	0.375	1.7	0.379	2.8
		60	0.376	0.387	2.9	0.386	2.6
	5.0	No	1.055	1.068	1.2	1.095	3.8
		15	0.741	0.747	0.8	0.762	2.8
		30	0.570	0.574	0.7	0.584	2.5
		45	0.347	0.348	0.3	0.354	2.1
		60	0.319	0.321	0.7	0.326	2.3

Tabla I

Para 6 MV la máxima diferencia entre el valor calculado y el valor medido es del 3.3%, lo cual es aceptable de acuerdo al TG 53<sup>10</sup>. Se observa sin embargo que para esta energía los cálculos del planificador Helax tienen una diferencia máxima del 1.6%.

En el caso de 18 MV los cálculos realizados con el formalismo desarrollado guardan un mejor acuerdo con respecto a los valores medidos pues la diferencia no supera al 3%. En contraposición, las discrepancias del planificador Helax bordean al valor del 4% aunque aun están dentro del criterio (5%).

Como en el caso de los campos abiertos, se encontró que en los campos con cuñas la discrepancia promedio entre el cálculo manual y el cálculo del planificador es del 0.3% para la energía de 6 MV, y del 1.3% para la energía de 18 MV.

#### D. RESULTADOS EN LOS CÁLCULOS DE TASAS DE DOSIS EN CAMPOS CON HEMIBLOQUEO DOBLE

Nuestro método también se verificó con el caso especial de campos doblemente bloqueados de tamaño 20x10 cm<sup>2</sup>, con X1 = 0 cm, X2 = 20 cm, Y1 = 0 y Y2 = 10 cm. En la tabla II se muestran los resultados para cada una de las puntos de medición denotados como  $P(x,y)$ .

TASAS DE DOSIS EN CAMPOS CON HEMIBLOQUEO DOBLE						
Energía	$P(x,y)$ (cm)	Medido (cGy/UM)	Calculado (cGy/UM)	Diferencia (%)	Helax (cGy/UM)	Diferencia (%)
6 MV	(10,1.5)	0.879	0.884	0.6	0.887	1.0
	(10,5.0)	0.935	0.921	-1.5	0.936	0.1
18 MV	(10,1.5)	0.998	1.019	2.1	1.044	4.6
	(10,5.0)	1.049	1.055	0.6	1.079	2.9

Tabla II

Los resultados de la tabla II reflejan que, para ambas energías las tasas de dosis calculadas apenas superan al 2% de discrepancia con respecto a los valores medidos. En el caso de los valores calculados con el planificador el valor máximo de discrepancia del 4.6% está fuera de la tolerancia sugerida por el TG-53 (3%). En cuanto a las diferencias promedio entre uno y otro método de cálculo, para la energía de 6 MV las discrepancias son del 1% en tanto que para 18 MV esta alcanzan el 2.3%.

## CONCLUSIONES

1. Se ha desarrollado un método para calcular las tasas de dosis en campos asimétricos regulares abiertos o con cuñas que ha demostrado tener un buen acuerdo con los valores medidos y, por lo tanto, se lo puede aplicar para la verificación de las unidades monitoras en chequeos de rutina.
2. Los cálculos de las tasas de dosis mediante el formalismo de la ecuación (1) para campos asimétricos abiertos, tienen una discrepancia que no supera el criterio del 3% para ambas energías. Sin embargo, estos valores siempre están por debajo del valor medido, es decir el método de cálculo que hemos propuesto subestima el verdadero valor de la tasa de dosis.
3. En cuanto a los cálculos que efectúa el sistema de planificación Helax, las tasas de dosis son superiores a los valores medidos en aproximadamente un 2%, es decir sobrestima los valores de las tasas de dosis. Las discrepancias son algo más pronunciadas con la energía de 18 MV.
4. En el análisis de los promedios de las discrepancias por energía se ha encontrado que el método de cálculo de las tasas de dosis que aquí se ha propuesto, y en última instancia de las unidades monitoras, guarda una diferencia inherente con el método de cálculo del sistema de planificación Helax de un 1% para la energía de 6 MV y de un 2.5% para la energía de 18 MV, las cuales deben ser aceptadas en las verificaciones de las unidades monitoras calculadas por el planificador.
5. En el caso de las tasas de dosis para los campos regulares asimétricos y con cuñas se ha determinado que los cálculos difieren en valores de alrededor del 3%, los cuales están dentro del criterio del 5%.

## REFERENCIAS

1. E. Jiménez S., "Metodología para la verificación de la dosis planeada en pacientes a irradiarse con campos asimétricos regulares mediante aceleradores lineales" (Tesis de Maestría, Instituto de Ciencias Físicas, Escuela Politécnica del Litoral, 2002).
2. F. M. Khan, B. J. Gerbi, y F. C. Deibel, "Dosimetry of asymmetric x-ray collimators", Revista Medical Physics, Vol. 13, No. 6, (1986), pp. 936-941.
3. F. M. Khan, "The Physics of Radiation Therapy", (2da. Edición. Baltimore, Williams & Wilkins, 1994) pp. 213-215
4. W. Kwa, R. O. Kornelsen, R. Harrison, E. El-Khatib "Dosimetry for asymmetric x-ray fields". Revista Medical Physics, Volumen 21, No. 10, (1994), pp. 1599-1604.

5. G. Marinello, A. Dutreix, "A general method to perform dose calculations along the axis of symmetrical and asymmetrical photon beams", *Revista Medical Physics*, Volumen 19, No. 2, (1992), pp. 275-281.
6. C. Chui, R. Mohan, "Off-center ratios for three-dimensional dose calculations", *Revista Medical Physics*, Volumen 13, No. 3, (1986), pp. 409-412.
7. P. Cadman, "A dosimetric investigation of scatter conditions for dual asymmetric collimators in open fields". *Revista Medical Physics*, Volumen 22, No. 4, (1995), pp. 457-463.
8. Cadman P., "Using the field edge correction (FEC) method to generate accurate POCRs and OCRs for asymmetric fields". *Revista Medical Physics*, Volumen 23, No. 3, (1996), pp. 353-356.
9. IAEA (International Atomic Energy Agency). Absorbed dose determination in photon and electron beams. An International code of practice. (Viena, 1997).
10. Fraas B, Doppke K., Hunt M., Kutcher G., Starkschall G., Van Dyke., "Quality Assurance for clinical radiotherapy treatment planning", *Revista Medical Physics*, Volumen 25, No. 10, (1998), pp. 1773-1829.

Vto. Bueno

Dra. Rosalía Durán Sarduy  
Directora de Tesis