

# Comportamiento Dosimétrico de un Sistema de Planificación mediante Curvas de Calibración de Densidades Electrónicas Relativas

Dosimetric Behaviour of a Planning System through Calibration Curves of Relative Electron Density

Paguay, J.<sup>1</sup>; Borja, M.<sup>1</sup>; Gualán, J.<sup>2</sup>; López, W.<sup>2</sup> & Benalcázar, F.<sup>3</sup>

**PAGUAY, J.; BORJA, M.; GUALÁN, J.; LÓPEZ, W. & BENALCÁZAR, F.** Comportamiento dosimétrico de un sistema de planificación mediante curvas de calibración de densidades electrónicas relativas. *J. health med. sci.*, 5(1):7-14, 2019.

**RESUMEN:** En ésta investigación se planteó como objetivo la verificación del comportamiento dosimétrico del Sistema de Planificación de Tratamiento (TPS) de Radioterapia mediante las curvas de calibración de Densidades Electrónicas Relativas (DER). Este estudio se realizó en el Hospital de la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA) Núcleo Loja, usando un fantoma antropomorfo CIRS 062M y un tomógrafo Toshiba Activion 16. Para determinar la nueva curva de calibración DER se tomaron los valores de densidades electrónicas especificadas en el manual del fantoma y las Unidades Hounsfield de la imagen tomográfica. Se realizó controles de calidad dosimétricos y verificación dosimétrica en tres casos clínicos: tórax, pelvis y cráneo; para realizar las pruebas dosimétricas se utilizó un acelerador CLINAC CX, cámara de ionización PTW tipo Farmer con volumen sensible de 0,6 cm<sup>3</sup> y un electrómetro PTW UNIDOS E. Los resultados mostraron que las medidas para cada inserto del fantoma en ningún caso excedieron los límites establecidos de  $\pm 20$  UH, para el tomógrafo y el TPS; las pruebas de control de calidad no superaron el límite máximo de desviaciones en el cálculo de dosis absorbida por el TPS y la obtenida por medición de  $\pm 4$  % establecida por la IAEA y las verificaciones dosimétricas en tórax, pelvis y cráneo, determinaron que las desviaciones en el cálculo de la dosis absorbida por el TPS y la obtenida por medición no superaban la tolerancia del  $\pm 5$  % establecida por la ICRU.

**PALABRAS CLAVE:** densidad electrónica relativa, unidades Hounsfield, dosis planificada, dosis absorbida.

## INTRODUCCIÓN

Los TPS calculan la dosis en medios heterogéneos empleando algoritmos de corrección basados en el conocimiento de la densidad electrónica relativa al agua ( $\rho_{e,a}$ ) de los distintos tejidos (Muños, 2009; SEFM, 2013), esta ( $\rho_{e,a}$ ) se obtiene a partir de una curva de calibración de Densidad Electrónica Relativa (DER) (Schneider *et al.*, 1996; Saw *et al.*, 2005). La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA por sus siglas en inglés) ha establecido recomendaciones, especificaciones y pruebas de aceptación para los TPS, para reducir el error entre el cálculo de la dosis planificada y la dosis entregada a pacientes (IAEA, 2008).

El aseguramiento de la calidad en el proceso de planificación del tratamiento de radioterapia

es esencial para garantizar la entrega exacta de la dosis al paciente y para minimizar el riesgo de exposición accidental (IAEA, 2008; SEFM, 2012). Los TPS están disponibles en países industrializados como en desarrollo por lo que es de vital importancia apoyar a los hospitales donde existan estos sistemas. Personal técnico de la IAEA ha elaborado un informe completo donde detallan una serie de pruebas que, de ser aplicadas, ayudan en el proceso de aceptación, puesta en marcha y control de calidad de los TPS (IAEA, 2000; Van Dyk, 2008).

Sin embargo, los pequeños hospitales con recursos limitados o grandes hospitales con alta carga de pacientes y personal limitado no siempre pueden realizar la caracterización completa,

<sup>1</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH), Riobamba, Ecuador.

<sup>2</sup> Hospital de la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA), Loja, Ecuador.

<sup>3</sup> Universidad Técnica de Ambato, Ambato (UTA), Ecuador.

validación y pruebas de software de los algoritmos utilizados en los TPS. Por lo tanto, la IAEA propuso directrices más específicas que proporcionan una recomendación paso a paso para los usuarios de hospitales o centros oncológicos de cómo implementar procedimientos de aceptación y puesta en marcha para los TPS recién adquiridos (IAEA, 2008).

En el hospital de la Sociedad de Lucha Contra el Cáncer (SOLCA) Núcleo Loja se cuenta con un sistema de planificación de radioterapia (TPS) el cual tiene por defecto incorporado una curva de calibración de Densidad Electrónica (DER) estándar, por lo que es de gran importancia construir otra curva de calibración DER, ya que mientras mejor se ajusten las curvas en las zonas de inhomogeneidades, mejor será el cálculo dosimétrico realizado por el TPS sobre dichas zonas de inhomogeneidad en los tejidos.

## MATERIAL Y MÉTODO

### Obtención de Unidades Hounsfield del Fantoma Antropomorfo

Para la obtención de las Unidades Hounsfield (UH) (Matínez *et al.*, 2002) se utilizó un fantoma antropomorfo de densidad electrónica Modelo 062M (CIRS, 2013), el cual consta de 17 insertos; la ubicación de cada uno de estos se realizó en base al procedimiento establecido en el documento TEC-DOC 1583 de la IAEA (2008) (Fig. 1); luego se alineó a los láseres de posicionamiento del tomógrafo de simulación marca Toshiba Activion 16. Posteriormente, se utilizó el protocolo de reconstrucción EUROTAC, que cotidianamente se usa y está programado para obtener reconstrucciones con cortes de 3 mm con un rango dinámico de 500, una tensión de 120 kVp y un amperaje de 50 mA. Una vez obtenidas las

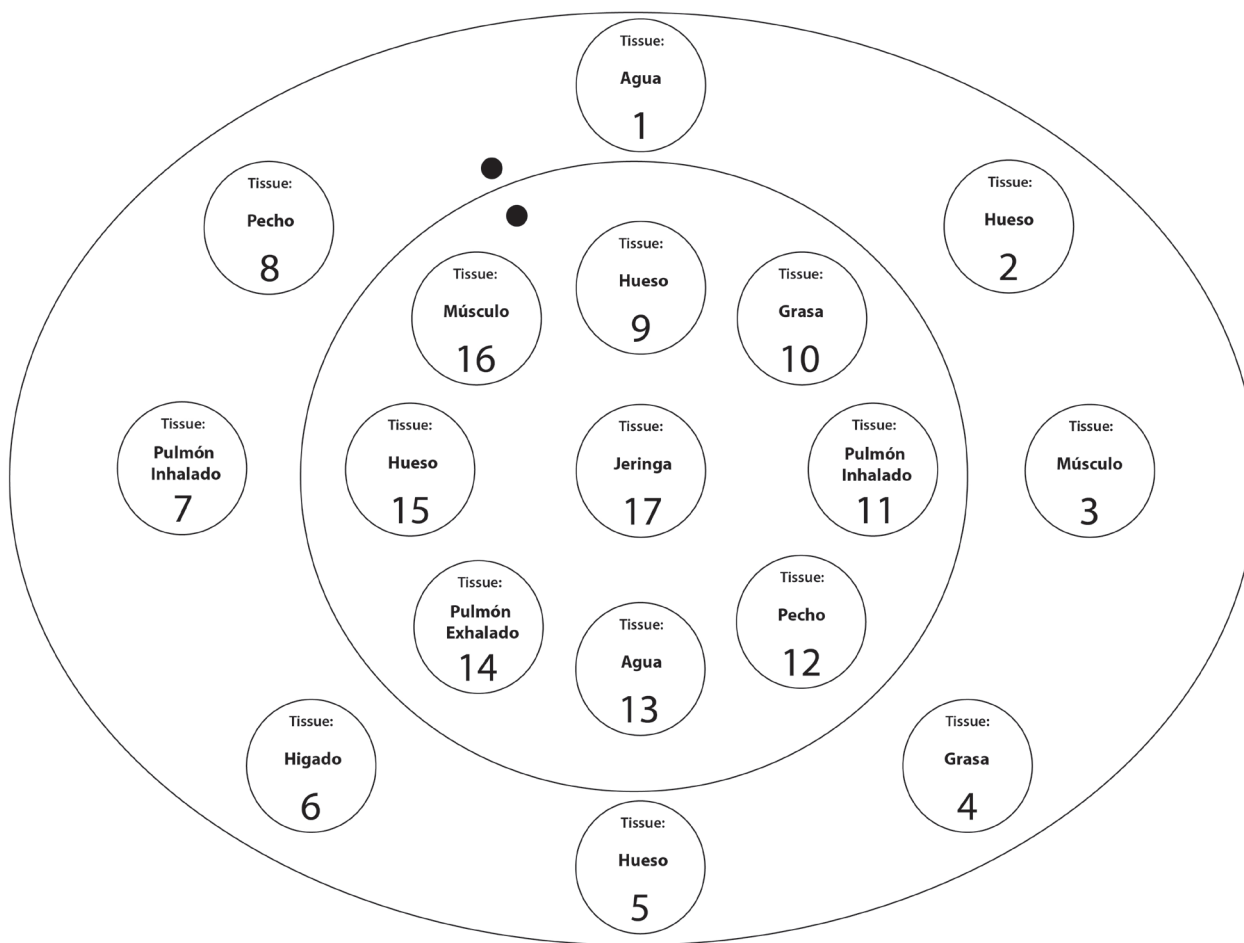


Fig. 1. Ubicación de los insertos en el fantoma.

imágenes del fantoma se realizó un estudio en la Región de Interés (ROI) de 2 cm para obtener las UH de la imagen TC.

Una vez obtenidas las imágenes TC fueron transferidas al TPS para poder determinar las UH de cada inserto; esto se realizó midiendo una ROI de 2cm en diferentes partes del inserto obteniendo un valor promedio. Con estos valores, se realizó una comparación de las UH obtenidas en las imágenes TC.

Se verificó la correcta lectura de UH, tanto en el TPS como en el escáner TC, mediante una resta de las mismas, donde la diferencia entre ellas no debe ser mayor a  $\pm 20$  UH según lo establecido en el documento TEC-DOC 1583 de la IAEA (2008).

### **Construcción y declaración de la nueva curva de calibración de densidad electrónica relativa al sistema de planificación de tratamientos**

La construcción de la nueva curva de calibración DER se realizó con las UH obtenidas de las imágenes tomográficas y la densidad electrónica de cada uno de los insertos de calibración adquirida del manual del fantoma CIRS 062M (CIRS). Para la declaración de la curva se siguió el manual del TPS Eclipse 13 y se procedió a introducir la nueva curva al TPS (Muños; IAEA, 2008; VAR, 2011).

### **Planificación dosimétrica del fantoma CIRS 062M**

Las imágenes TC del fantoma antropomorfo fueron ingresadas al TPS mediante CD, eligiendo como documento base para la planificación dosimétrica de las pruebas el documento TEC-DOC 1583 de la IAEA (2008). Se realizó la planificación de cinco pruebas adaptadas a las dimensiones del fantoma, cada una con diferentes factores físicos y representaciones geométricas típicas de tratamiento, para el cálculo de las unidades monitoras se realizó con una prescripción de 2 Gy a un punto de referencia en un inserto del fantoma dependiendo de la prueba, y se utilizaron energías de fotones de 6MV y 15MV para la curva de calibración DER estándar y la nueva curva de calibración DER. Ya que el fantoma tiene un ancho de 5 cm la mayoría de las pruebas se realizaron a campos de 5 x 5.

### **Planificación dosimétrica en pacientes**

Para la realización de esta prueba se escogieron tres pacientes con distintos casos clínicos: Tórax (Pulmón), Encéfalo (Cerebro), Pelvis (Vejiga) (Barret *et al.*, 2009). Estos casos fueron escogidos dado que son los más comunes dentro de la unidad de Radioterapia. Las UM fueron obtenidas en el TPS para una prescripción de 2 Gy en el punto de referencia, a un solo campo Antero-Posterior conformado a la región de interés y para energías de tratamiento de 6 y 15 MV; esta planificación dosimétrica se ejecutó con la curva de calibración DER estándar y con la nueva curva de calibración DER. Para la irradiación se utilizó un fantoma de agua sólida PTW 29672/U19 que simulaba al paciente que son los más comunes dentro de la unidad de Radioterapia.

### **Cálculo de la desviación de la dosis**

Las UM fueron calculadas por el TPS para cada uno de los casos planificados, entregando una dosis de 2 Gy al punto de referencia para la curva de calibración DER estándar y la nueva curva de calibración DER. La irradiación fue realizada en un Acelerador Lineal de Electrones VARIAN CX serie 5888 con haces de fotones de 6 y 15 MV; se usó una cámara de ionización PTW tipo Farmer con un volumen sensible de 0,6 cm<sup>3</sup> conectada a un electrómetro PTW UNIDOS E para determinar la carga al momento de la irradiación y para posteriormente ser transformada en dosis, para este cálculo se usaron las ecuaciones establecidas por el documento TRS 398 de la IAEA (2005) y así poder determinar la desviación entre la dosis calculada por el TPS y la obtenida por medición.

El cálculo de la dosis absorbida para un haz de fotones se obtuvo en base al documento TRS-

$$D(P_{\text{eff}}) = M_{\text{Primaria}} N_d K_{T,P}$$

398 de la IAEA (2005):

Donde:

$D(P_{\text{eff}})$ : Dosis absorbida en un punto.

$M_{\text{prima}}$ : Lectura inicial en el electrómetro.

$K_{T,P}$ : Factor de corrección de presión-temperatura.

$N_d$ : Factor de calibración de cámara (0,05371 \* Gy / nC).

El  $K_{T,P}$  está dado como se indica en la ecuación:

$$K_{T,P} = \frac{P_0(273.2 + T)}{P(273.2 + T_0)}$$

Donde:

$P_0$ : 101,3 kPa (presión de calibración del equipo).  
 $T_0$ : 22 °C (Temperatura de calibración del equipo).  
 P: Presión a la que se realiza las medidas.  
 T: Temperatura a la que se realiza las medidas.

Para encontrar la desviación dosimétrica entre la dosis calculada y la dosis medida se utilizó la siguiente ecuación (IAEA, 2008):

$$E [\%] = \frac{D_{calculada} - D_{medida}}{D_{medida, referencia}} \times 100\%$$

## RESULTADOS

### Obtención de UH a partir de la TC del Fantoma Antropomorfo

Una vez obtenidas las UH con un ROI de 2 cm en el escáner CT y en el TPS se realizó una diferencia de los valores obtenidos de UH para cada inserto como muestra la Tabla I. Resultados del control de calidad verificación dosimétrica aplicada al fantoma antropomorfo CIRS 062M.

Para la determinación de la dosis absorbida y la desviación que existe entre la obtenida mediante el cálculo del TPS y aquella obtenida indirectamente por medición, se aplicó las ecuaciones 1, 2 y 3. Estas desviaciones de dosis se obtuvieron con la curva de calibración DER estándar y la nueva curva de calibración DER, con energías de 6 y 15 MV. Los resultados obtenidos en la investigación se encuentran en la Tabla II para la energía de 6MV y la Tabla III para la energía de 15 MV.

### Resultados de la verificación dosimétrica aplicada a pacientes

Los datos obtenidos de la verificación dosimétrica, para los tres pacientes, aplicada a un fantoma de agua sólida, y cada uno con un caso clínico diferente, planificados tanto con la curva de calibración DER estándar y la nueva curva DER,

Tabla I. Diferencia entre Unidades Hounsfield obtenidas del tomógrafo y del sistema de tratamientos de planificación.

Nº Inserto	Tipo de Inserto	UH Tomógrafo	UH TPS	Diferencia de UH
1	Agua	-22,21	-25,7	3,49
2	Hueso	244,71	242,8	1,91
3	Músculo	45,85	43,5	2,35
4	Adiposo	-68,93	-71,0	2,07
5	Hueso	221,34	215	6,34
6	Hígado	49,39	50,3	-0,91
7	Pulmón Inhalado	-848,97	-850	1,03
8	Pecho-mama	-49,80	-48,9	-0,90
9	Hueso	249,73	247,1	2,63
10	Adiposo	-72,21	-71,0	1,21
11	Pulmón Inhalado	-849,47	-850	0,53
12	Pecho-mama	-47,68	-47,4	-0,28
13	Agua	-21,26	-25,7	4,44
14	pulmón exhalado	-539,30	-538,8	-0,50
15	Hueso	219,64	219,6	0,04
16	Músculo	45,85	44,0	1,85
17	Agua en Jeringa	-17,61	-22,2	4,59

para una prescripción de 2 Gy con un campo AP arrojó los resultados mostrados en las Tablas IV-V.

## DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos, que se muestran en la Tabla I, evidenciaron que la diferencia de UH para un mismo material (inserto) debe estar dentro de los parámetros establecidos por la IAEA (2008) es decir,  $\pm 20$  UH. Así nuestros resultados, realizando una diferencia de UH para cada inserto, mostraron que están dentro de los límites establecidos con una máxima diferencia de 6,34 UH, correspondiente al inserto 5 (hueso) y una mínima diferencia para el inserto 6 (hígado) con un valor de -0,28 UH. Por consiguiente, los valores de UH obtenidos en el Tomógrafo Activion 16 son aptos para la construcción de la nueva curva de calibración DER.

Según los resultados de las Tablas II y III la desviación entre la dosis calculada por el TPS y la obtenida por medición para las dos curvas de calibración están dentro de los parámetros de aceptación establecidos por la IAEA (2008) y asumidos en este trabajo.

La Comisión Internacional de Unidades de Radiación y Medición (ICRU, por sus siglas en inglés) en su informe 24 sobre la determinación de la dosis absorbida en pacientes irradiados con haces de rayos X o gamma en procedimientos de radioterapia establece un límite de tolerancia de  $\pm 5\%$  en el suministro de la dosis a un volumen blanco (ICRU, 1976). Los resultados que se muestran en las Tabla IV

y V, evidenciaron que la desviación de dosis absorbida con energía de 6 MV y 15 MV, respectivamente, para las dos curvas, no superaron el límite de tolerancia máximo establecido en el documento del ICRU. En esta Investigación se observó además, que los valores de desviación fueron mayores en las pruebas con la curva de calibración DER estándar, excepto para la prueba de cráneo.

Tabla II. Desviaciones de la dosis absorbidas para la curva de calibración DER estándar y la nueva curva de calibración DER para la energía de 6 MV.

Prueba	Curva calibración DER estándar				Nueva curva calibración DER			
	Localización del punto de medida	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Tolerancia IAEA [%]
1	1	4,036	3,996	2	4,031	4,018	0,66	2
	5	1,064	0,995	3	1,072	1,017	2,8	5
	13	1,403	1,390	0,65	1,405	1,371	1,74	2
	17*	2,000	1,981	1	2,000	1,953	2,4	2
2	1	2,000	1,952	2,4	2,000	1,989	0,55	3
3	17	2,000	1,980	1	2,000	1,990	0,5	3
4	F1: 0°	0,383	0,375	1,6	0,388	0,382	1,2	3
	F2: 90°	0,569	0,555	2,8	0,574	0,565	1,8	4
	5 F3: 270°	0,562	0,559	0,61	0,560	0,565	-1	4
	F4: 180°	0,663	0,653	2	0,672	0,663	1,8	3
	F1: 0°	0,070	0,065	1	0,066	0,068	-0,4	4
	F2: 90°	0,630	0,625	1	0,643	0,637	1,2	3
	11 F3: 270°	0,337	0,332	1	0,369	0,358	2,2	3
	F4: 180°	0,061	0,067	-1,2	0,052	0,061	-1,8	4
	F1: 0°	0,501	0,497	0,8	0,505	0,499	1,2	2
	F2: 90°	0,501	0,492	1,8	0,499	0,485	2,8	3
	13* F3: 270	0,499	0,488	2,2	0,503	0,493	2	3
	F4: 180°	0,499	0,489	2	0,500	0,496	0,8	3
5	16*	2,000	2,003	-0,1	2	1,989	0,5	2
	14	1,144	1,129	1,3	1,145	1,130	1,3	4

El (\*) que aparece en la tabla representa el punto de referencia con el cual se trabajó.

Tabla III. Desviaciones de la dosis absorbidas para la curva de calibración DER estándar y la nueva curva de calibración DER para la energía de 15 MV.

Prueba	Curva calibración DER estándar				Nueva curva calibración DER			
	Localización del punto de medida	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Tolerancia IAEA [%]
1	1	3,279	3,257	1,1	3,284	3,261	1,1	2
	5	1,219	1,158	3	1,215	1,173	2,1	5
	13	1,514	1,514	0	1,518	1,503	0,75	2
	17*	2,00	1,981	1	2,000	1,978	1,1	2
2	1	2,000	1,989	0,05	2,000	2,00	0	3
3	17	2,000	1,981	1	2,000	1,947	2,7	3
4	F1: 0°	0,399	0,388	2,2	0,395	0,389	1,2	3
	F2: 90°	0,555	0,545	2	0,557	0,549	1,6	4
	5 F3: 270°	0,555	0,548	1,4	0,550	0,545	1	4
	F4: 180°	0,587	0,579	1,6	0,594	0,586	1,6	3
	F1: 0°	0,051	0,067	-3,2	0,047	0,039	1,62	4
	F2: 90°	0,613	0,606	1,4	0,622	0,615	1,4	3
	11 F3: 270°	0,399	0,389	2	0,369	0,359	2	3
	F4: 180°	0,053	0,051	0,4	0,048	0,042	1,2	4
	F1: 0°	0,500	0,498	0,4	0,500	0,493	1,4	2
	F2: 90°	0,503	0,494	1,8	0,500	0,489	2,2	3
	13* F3: 270	0,497	0,491	1,2	0,500	0,495	1	3
	F4: 180°	0,500	0,488	2,4	0,503	0,502	0,1	3
5	16*	2,000	1,980	1	2,000	1,989	0,5	2
	14	1,297	1,288	0,5	1,292	1,286	0,3	4

El (\*) que aparece en la tabla representa el punto de referencia con el cual se trabajó.

## CONCLUSIONES

La metodología aplicada en base al TEC-DOC 1583 de la IAEA (2018), establece que la diferencia entre las HU del Tomógrafo Activion 16 y

las del TPS Eclipse 13 no deben exceder a  $\pm 20$  HU, para que los datos de HU obtenidos del tomógrafo sean aptos para crear una curva de calibración DER. Como las mediciones realizadas en los insertos, no excedieron este límite se procedió a declarar la curva en el sistema de planificación Eclipse 13.



Tabla IV. Desviación de la dosis absorbida en pruebas realizadas a pacientes, con energía de 6 MV.

Prueba	Curva calibración DER estándar			Nueva curva calibración DER			
	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Tolerancia ICRU [%]
Pelvis	2,00	1,971	1,47	2,00	1,972	1,41	5
Cráneo	2,00	2,022	-1	2,00	2,022	-1,13	5
Pulmón	2,00	1,957	2,19	2,00	1,958	2,14	5

Tabla V. Desviación de la dosis absorbida en pruebas realizadas a pacientes, con energía de 15 MV.

Prueba	Curva calibración DER estándar			Nueva curva calibración DER			
	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Dosis Calculada TPS [Gy]	Dosis Obtenida por Medición [Gy]	Desviación [%]	Tolerancia ICRU [%]
Pelvis	2,00	1,979	1,06	2,00	1,980	1,01	5
Cráneo	2,00	2,015	-0,74	2,00	2,016	-0,79	5
Pulmón	2,00	1,958	2,14	2,00	1,964	1,83	5

Las desviaciones de la dosis absorbida calculada por el sistema de planificación con respecto a la obtenida por medición, para cada uno de los insertos, no sobrepasó el límite máximo establecido en las cinco pruebas de control de calidad realizadas según las especificaciones del TEC-DOC 1583 de la IAEA (2018), y para las pruebas de verificación dosimétrica ejecutadas para los tres pacientes con casos clínicos en tórax, pelvis y cráneo tampoco superaron el límite de tolerancia establecida por el ICRU, mostrando que la nueva curva de calibración DER, tanto para energías de 6 y 15 MV, presentan mejor comportamiento para las pruebas de tórax y pelvis, mientras que la curva de calibración DER estándar con energías de 6 y 15 MV muestran menor error para la prueba de cráneo; lo que sugiere que la nueva curva de calibración DER es apta para casos clínicos que no tengan densidad ósea elevada.

tomograph. To determine the new DER calibration curve, the values of the electron densities specified in the manual of the phantom and the Hounsfield Units of the tomographic image were taken. Dosimetric quality controls were made in the location of three clinical cases: thorax pelvis and skull; used a CLINAC CX accelerator was used to perform the dosimetric tests, PTW ionization chamber type Farmer with sensitive volume of 0.6 cm<sup>3</sup> and a PTW UNIDOS E electrometer. The results showed that the measurements for each insert of the phantom in no case exceeded the established limits of  $\pm 20$  UH, for the tomograph and the TPS; the quality control tests did not exceed the maximum limit of deviations in the calculation of dose absorbed by the TPS and the one obtained by measurement of  $\pm 4\%$  established by the IAEA and the clinical planning in the thorax, pelvis and skull, determine that the deviations in the calculation of the dose absorbed by the TPS and that obtained by measurement, they do not exceed the tolerance of  $\pm 5\%$  established by the ICR.

**KEY WORDS:** calculated dose, relative electron density, Hounsfield units, absorbed dose.

PAGUAY, J.; BORJA, M.; GUALÁN, J.; LÓPEZ, W. & BENALCÁZAR, F. Dosimetric behaviour of a planning system through calibration curves of relative electron density. *J. health med. sci.*, 5(1):7-14, 2019.

**ABSTRACT:** In this research, the aim was to verify the dosimetric behavior of the Radiotherapy Treatment Planning System (TPS) using the Relative Electron Density (DER) calibration curves. This study was carried out at the SOLCA (Society of Fight Against Cancer) hospital in Loja, using an CIRS model 062M anthropomorphic phantom and a Toshiba Activion 16

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barret, A.; Dobbs, J.; Morris, S. & Roques, T. *Practical Radiotherapy Planning*, 2009.
- Computerized Imaging Reference Systems (CIRS). *Electron Density Phantom Model 062M*. Virginia, USA: CIRS, 2013.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). *TEC-DOC 1151: Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad*. Viena, International Atomic Energy Agency, 2005, 2000.

- International Atomic Energy Agency (IAEA). *TRS-398: Determinación de la dosis absorbida en radioterapia con haces externos. Un Código de Práctica Internacional para la dosimetría basada en patrones de dosis absorbida en agua.* Viena, International Atomic Energy Agency, 2005.
- International Atomic Energy Agency (IAEA). *TEC-DOC 1583: Commissioning of radiotherapy treatment planning systems : Testing for typical external beam treatment techniques. Report of the coordinated research project (CRP) on development of procedures for quality assurance of dosimetry calculations in radiotherapy.* Viena, International Atomic Energy Agency, 2008.
- International Commission on Radiation Units and Measurements (ICRU). *Report 24: Determination of absorbed dose in a Patient Irradiated by Beams of X or Gamma Rays in Radiotherapy Procedures.* Bethesda: ICRU, 1976.
- Matínez, L.; Rodríguez, C.; Muñoz, C., & López, A. Un método para la conversión del número Hounsfield en densidad electrónica y para la obtención de la energía efectiva en los escáneres CT. *Rev. Fis. Med.*, 3(1), 2002.
- Muños, T. *Integración de las curvas DER (Densidad Electrónica Relativa) al proceso de verificación dosimétrica de un planificador de ratamienos 3D-conformados para radioterapia.* Río Negro, Argentina, 2009.
- Saw, C.; Loper, A. & Komanduri, K. Determination of CT to density conversion relationship for image-based treatment planning system. *Med. Dosim.*, 30(3):145-48, 2005.
- Schneider, U.; Pedroni, E. & Lomax, A. The calibration of CT Hounsfield units for radiotherapy treatment planning. *Phys. Med. Biol.*, 4(1):111-24, 1996.
- Sociedad Española de Física Médica (SEFM). *Fundamentos de Física Médica. Radioterapia Externa I. Bases Físicas, equipo, determinación de la dosis absorbida y programa de garantía de calidad.* Vol. 3. Madrid, ADI, 2012.
- Sociedad Española de Físicos Médicos (SEFM). *Fundamentos de Física Médica. Radioterapia externa II. Dosimetría clínica, algoritmos de cálculo, sistemas de planificación y control de calidad.* Vol. 4. Madrid, ADI, 2013.
- Van Dyk, J. Quality assurance of radiation therapy planning systems: current status and remaining challenges. *Int. J. Radiat. Oncol. Biol. Phys.*, 71(1 suppl):S23-7, 2008.
- Varian Medical System (VAR). *Eclipse Algorithms Reference Guide. Finland: Varian Medical System, 2011.*

Dirección para correspondencia:

Jessica Paguay  
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (ESPOCH)  
Riobamba  
ECUADOR

Email: [jessiicacriistiina1@gmail.com](mailto:jessiicacriistiina1@gmail.com)

Recibido : 24-09-2018

Aceptado: 15-12-2018