Rev. latinoam. fís. méd. 2015; 1(2): 28-33

DISEÑO Y EVALUACIÓN DE UN FILTRO PARA ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE CURVAS DE DOSIS EN PROFUNDIDAD DURANTE EL COMISIONAMIENTO DEL ACELERADOR LINEAL TRUEBEAM

P. Martínez-García[1], E. Figueroa [1]
[1] Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición "Salvador Zubirán" (INCMNSZ), Unidad de Radio-Oncología, México

RESUMEN

El proceso de comisionamiento de un linac para uso clínico involucra no sólo mediciones de parámetros dosimétricos que son necesarios para validar el sistema de planificación de tratamientos (SPT), sino que también es un proceso que se debe aprovechar para validar distintos componentes (detectores de dosimetría, haces de radiación, sistema de imágenes, red de información, SPT, etc.). Este proceso también incluye la entrada y caracterización de datos de los haces en forma de perfiles y curvas de dosis en profundidad y valores puntuales de dosis. La prueba final consiste en probar la exactitud de éstos una vez procesados por el sistema y finalmente entregados en forma de campos de tratamiento a un maniquí.

La comunidad de Físicos Médicos a nivel mundial recomienda no dejarse presionar por la premura de iniciar tratamientos con pacientes inmediatamente después de firmadas las pruebas de aceptación con el fabricante. Bajo la sombra de esta recomendación y con el objeto de conocer a fondo el sistema en su totalidad durante el comisionamiento del sistema TrueBeam, decidimos realizar un análisis exhaustivo de las curvas crudas de PDD obtenidas con el analizador de haces de radiación utilizado (MePhysTo PTW®). Al tratarse de un equipo nuevo tanto en linac como en detectores de radiación y software analizador, es imperativo que los Físicos Médicos tengan un pleno entendimiento de la instrumentación con la que se cuenta para colectar los datos con un nivel de confianza óptimo, lo que incluye el software analizador de haces cuyo procesamiento interno a veces es desconocido.

Realizamos un filtro propio con el software MatLab® con el fin de validar el pre-establecido por MePhysTo y analizar el procesamiento que éste hace sobre los datos crudos de la señal del barrido de cada PDD tanto en fotones como en electrones.

Palabras clave: comisionamiento, PDD, filtros, acelerador lineal.

ABSTRACT

The commissioning process of a linac for its clinical use involves not only dosimetric parameters to be entered to the TPS. This is a process for the validation of several components (radiation beams and dosimeters, imager system, etc.). It includes to enter the data collected as profiles and dose measurements. The final test is to test the accuracy of these measurements once it has been processed by the TPS and finally delivered as treatment fields on a phantom.

The Medical Physics community recommends avoiding the pressure to initiate clinical treatments as soon as the acceptance testing is finished. Following this advertise we decided to performed an exhaustive analyze of the raw data from MePhysTo software and we developed a home smoothing filter in order to validate the pre-established by PTW.

The confidence level of Medical Physics group increased after this validation because the analyzer software stopped being just a black box when raw data has to be processed in order to achieve a kind of metric or pattern for the TPS requirements.

Keywords: commissioning, PDD, filter.

I. INTRODUCCIÓN

Durante las mediciones rutinarias del comisionamiento de un acelerador lineal (1–3) existen varios contratiempos al analizar los datos crudos adquiridos debido a su carácter discreto y la presencia de fluctuaciones naturales, por lo tanto, siempre existe la necesidad de procesar dichos datos para obtener parámetros determinantes como el porcentaje de dosis a cierta profundidad, por ejemplo la profundidad de dosis máxima (d_{max})(4,5). La mayoría de los equipos de medición cuentan con su propio software de análisis y contienen filtros precargados de los cuales no se tiene la suficiente información sobre la perturbación y/o modificación que aplican a los valores originales. Confiar en la forma del procesamiento de los datos del software de marca, es una caja negra que representa un gran compromiso, por lo tanto, existe la necesidad de simular dichos procesamientos con la finalidad de tener mayor control de los datos para un análisis más certero.

El algoritmo del filtro del software MePhysTo es un promedio ponderado de tres puntos $\{y_{i-1}, y_i, y_{i+1}\}$, que tiene la siguiente forma:

$$\mathbf{Y(i)} = \mathbf{a}_{i-1}\, y_{i-1} + 0.5 y_i + \mathbf{a}_{i+1}\, y_{i+1} \quad \text{(Ec.1)}$$

Siendo los pesos a_{i-1} y a_{i+1} igual a:

$$a_{i-1} = 0.5\left(1 - \frac{d_{i-1}}{d_{i-1}+d_{i+1}}\right) \quad \text{(Ec. 2)}$$

$$a_{i+1} = 0.5\left(1 - \frac{d_{i+1}}{d_{i-1}+d_{i+1}}\right) \quad \text{(Ec. 3)}$$

d_{i+1} y d_{i-1} representa la diferencia de las posiciones contiguas a x_i, es decir, x representa la profundidad y por lo tanto, d_{i+1} y d_{i-1} son:

$$d_{i-1} = x_i - x_{i-1} \quad \text{(Ec. 4)}$$
$$d_{i+1} = x_{i+1} - x_i \quad \text{(Ec. 5)}$$

Objetivo: Diseñar un filtro que modele de manera óptima las características físicas de los haces de radiación de un acelerador lineal, en particular de las curvas de dosis en profundidad (PDD). Evaluar y validar el filtro del software MePhysTo y así como la alteración que sufre el PDD al ser filtrado.

II. METODOLOGÍA

Utilizando el acelerador lineal TrueBeam se registró para cada energía disponible la curva de dosis en profundidad (PDD por sus siglas en inglés "Percentage Depth Dose"), tanto para haces de fotones (6, 10 y 15 MV; 6 y 10 FFF) y electrones (6, 9, 12, 15, 16, 18, 20 y 22 MeV). Las mediciones se realizaron utilizando el sistema de dosimetría MP3 de PTW (capacidad de agua 69.4x59.6x50.3 cc) y las cámaras de ionización cilíndricas semiflex de 0.125 cc de volumen efectivo. En todos los barridos se utilizó cámara de referencia del mismo tipo que la de campo (modelo 31010 de PTW) utilizando el ajuste de ganancias automático de MePhysTo.

Antes de realizar las mediciones de verificó la correcta alineación y nivelación del tanque de agua. La geometría utilizada fue SSD=100cm, tamaño de campo de 10x10 cm^2 para fotones y cono de 15x15cm^2 para electrones. Las resoluciones utilizadas variaron desde 0.2 mm hasta 3 mm dependiendo de la región de la curva de dosis en profundidad. En este análisis no está corregida la eficiencia de colección de la cámara de ionización en los haces sin filtro de aplanado 6 FFF y 10 FFF.

Procesamiento

Cada PDD registrado (archivo en crudo), fue exportado como archivo de texto utilizando MePhysTo.

El procesamiento de los datos exportados, los filtros de suavizado para los PDDs, tanto la reproducción del filtro de MePhysTo (PDD_{MR}) y el filtro propuesto (PDD_{3pp}) fueron programados en MatLab (Matworks, Inc).

El PDD_{MR} se realizó siguiendo la Ecuación 1. El filtro propuesto que es un promedio ponderado de 3 puntos, se diseñó con la finalidad de que no dependiera de una resolución constante en todo el PDD. La ecuación principal del filtro propuesto es:

$$\boldsymbol{PDD_{3pp}(i) = \alpha\, PDD_{i-1} + \beta\, PDD_i + \gamma\, PDD_{i+1}} \quad \text{(Ec. 6)}$$

Donde los pesos α, β y γ son:

$$\boldsymbol{\alpha = \frac{x_{i+1}-x_i}{3\Delta^+}} \quad \text{(Ec. 7)}$$

$$\boldsymbol{\beta = \frac{2\Delta^+-\Delta^-}{3\Delta^+}} \quad \text{(Ec. 8)}$$

$$\boldsymbol{\gamma = \frac{x_i-x_{i-1}}{3\Delta^+}} \quad \text{(Ec. 9)}$$

Siendo x_i la profundidad en la posición i-ésima, Δ^+ es el valor mayor de la diferencia $(\mathbf{X_i - X_{i-1}})$ ó $(\mathbf{X_{i+1} - X_i})$, y Δ^- el valor menor de la diferencia. Si $\mathbf{X_i - X_{i-1} = X_{i+1} - X_i}$ entonces $\Delta^+ = \Delta^-$.

Como se observa en la ecuación 6, el filtro es un promedio ponderado que al ser solo de 3 puntos contiguos, su respuesta es como un filtro pasa bajas, eliminando altas frecuencias como perturbaciones aleatorias y ruido.

Para demostrar la simulación del filtro del software MePhysTo, se realizó el suavizado del PDD original registrado con 6 MV con N_{fil}=10 (N_{fil} representa el número de veces que se aplicó el filtro), directamente desde el software (PDD_M) y aplicando el filtro programado en MatLab (PDD_{MR}). Se estimó la diferencia para cada dato de ambos PDDs obtenidos (PDD_M y PDD_{MR}) y se realizado una correlación lineal estimando el coeficiente de determinación R^2.

Para evaluar el funcionamiento del filtro simulado de MePhysTo PDD_{MR} y el filtro propuesto PDD_{3pp}, su dependencia con N_{Fil}; para cada energía se estimó d_{max}, N_{max} (número de datos con 100% de dosis), y el porcentaje de dosis para las profundidades $X_{Fotones}$=5, 10, 20, 30, 50, 80, 90, 100 y 200 mm y $X_{Electrones}$=5, 10, 20, 30, 40, 50, 60 y 70 mm.

Los resultados obtenidos se compararon con los valores obtenidos de las señal original (PDD sin filtral) y con los proporcionados por Varian como referencia del acelerador lineal TrueBeam.

Los resultados se presentarán como mediana (mínimo, máximo)

III. RESULTADOS Y DISCUSIONES

Se reprodujo, según las especificaciones del software MePhysTo dadas por PTW, un filtro que entregó una variación del porcentaje de dosis de máximo de 0.04%. La correlación lineal entre PDD_M vs PDD_{MR} arroja una ecuación con pendiente y R^2 igual a 1 (Figura 1), dicho resultado es estadísticamente significativo ($p<0.001$) para los 165 datos correlacionados. Por lo tanto, se logró simular el filtro que el software MePhysTo contiene, obteniendo así un mayor control del procesamiento que aplica en la serie de datos.

Para el caso de fotones, las modificaciones que sufren los resultados si depende de N_{fil}, como se visualiza en la figura dos. Tomando una tolerancia del porcentaje de dosis de 1% de variación del PDD en crudo respecto a los filtrados (PDD_{MR} y PDD_{3pp}) se encontró que en determinadas profundidades sobre todo en las regiones de builup y en la cola de la curva, se modifica más la forma directamente proporcional conforme se aumenta el número de N_{fil}, alcanzando en el mayor de los casos una variación del 8%. Cabe mencionar que solo ocurre en regiones de la orilla, ya que las mediana de la diferencia del porcentaje de dosis las profundidades $X_{fotones}$ alcanza un máximo valor de 0.28% y de 0.35% de variación con $N_{Fil}=30$ comparando con el filtro MePhysTo y el propuesto respectivamente. Por lo tanto de ambas gráficas se concluye que para no tener variaciones mayores al 1% del porcentaje de dosis, se recomienda máximo aplicar $N_{Fil}=3$ si se utiliza el filtro del software MePhysTo y $N_{Fil}=2$ si se utiliza el filtro propuesto.

Al analizar el comportamiento de d_{max} obtenida del PDD en crudo vs PDD_{MR} se encontró que el valor d_{max} permanece estable (mínimo 3 valores iguales consecutivos) en $N_{fil}=1(1,3)$, $\Delta d_{max}=0.2(0.0, 1.4)$mm y $N_{max}=2(1,7)$ y al comparar PDD vs PDD_{3pp} se encontró $N_{fil}=1(1,2)$, $\Delta d_{max}=0.2(0.0, 1.0)$mm y $N_{max}=1(1,3)$ (Tabla 1), siendo el resultado congruente con el observado en la Figura 2. Por lo tanto, no en necesario aplicar más de $N_{fil}=3$ si se utiliza el filtro MePhysTo y $N_{fil}=2$ utilizando el filtro propuesto.

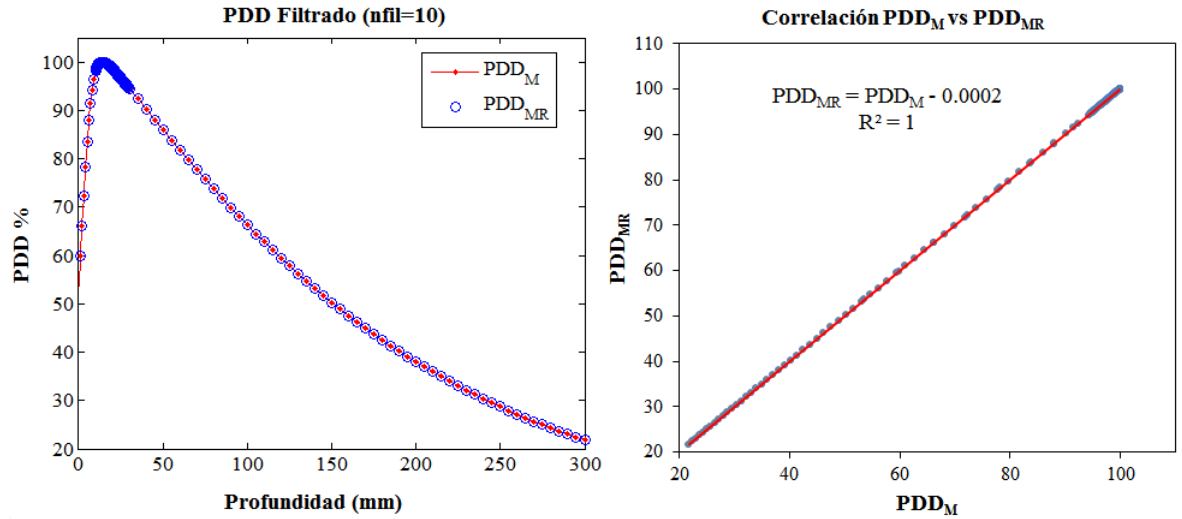


Figura 1. La grafica izquierda muestra la superposición del porcentaje de dosis (PDD) obtenido al filtrar la serie en crudo 10 ocasiones ($N_{fil}=10$) directamente desde el software MePhysTo (PDD_M) y simulando dicho filtro en Matlab (PDD_{MR}). La gráfica derecha muestra la correlación lineal entre ambos resultados, así como la ecuación obtenida y el coeficiente de determinación R^2.

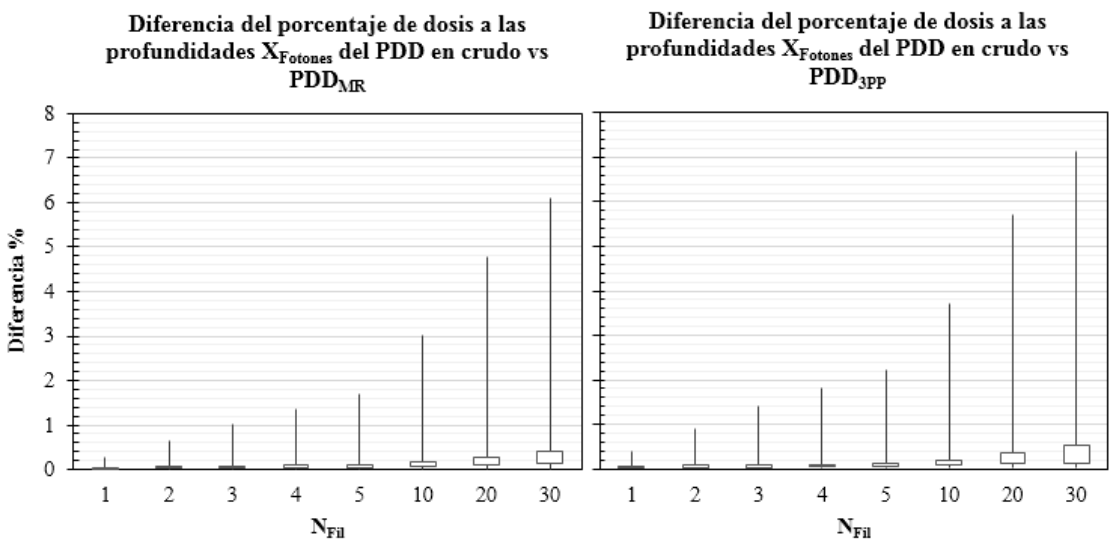


Figura 2. Diferencia del porcentaje de dosis obtenido al comparar el PDD sin filtrar vs el PDD filtrado con MePhysTo y programado en MatLab (PDD_{MR}) y el filtro propuesto PDD_{3pp} para las Fotones; variando el número de veces que se aplica el filtro (N_{Fil})

		Filtro MePhysTo			Filtro Propuesto		
Energía (MV)	d_{max} (mm)	N_{fil}	Δd_{max} (mm)	N_{max}	N_{fil}	Δd_{max} (mm)	N_{max}
6	15.00	2	1.4	7	2	1.0	3
10	22.60	1	0.0	1	2	0.0	1
15	27.80	1	0.0	1	1	0.0	1
6 FFF	13.20	1	0.2	2	1	0.2	1
10 FFF	22.20	3	1.0	6	1	0.8	1

Tabla 1. NFil contiene el valor en el que después de aplicar el filtro cierto número de veces, la dmax no varía (mínimo 3 valores consecutivos iguales), Δd_{max} es la diferencia de las profundidades de dosis máxima obtenido del PDD original, vs los PDD filtrados (PDD_{MR} y PDD_{3pp}) con Fotones

Finalmente aplicando cada filtro con su respectiva N_{Fil} óptimo (Tabla 1) se comparó el valor d_{max} obtenido de los datos de referencia de Varian. El resultado (Tabla 2) de la diferencia al comparar con el PDD_{MR} es Δd_{max}=0.4(0.05, 1.45)mm y con PDD_{3pp} es Δd_{max}=0.3(0.0,1.45)mm.

Al comparar la dosis en las diferentes profundidades, tomando el N_{fil} de estabilidad de cada energía (Tabla 1) para el PDD_{MR} se obtuvo una ΔPDD_X=0.36(0, 3.86)%, y para PDD_{3pp} se obtuvo ΔPDD_X=0.36(0, 3.85)%.

Energía	Varian	PDD_{MR}	PDD_{3pp}
(MV)	d_{max} (mm)	Δd_{max} (mm)	Δd_{max} (mm)
6	14.00	0.40	0.00
10	22.85	0.05	0.25
15	27.50	0.30	0.30
6 FFF	14.00	1.00	1.00
10 FFF	22.85	1.45	1.45

Tabla 2. Resultados al comparar la profundidad de dosis máxima en los PDD filtrados con MePhysTo (PDD_{MR}) y el propuesto (PDD_{3pp}) vs el PDD de referencia de Varian con Fotones

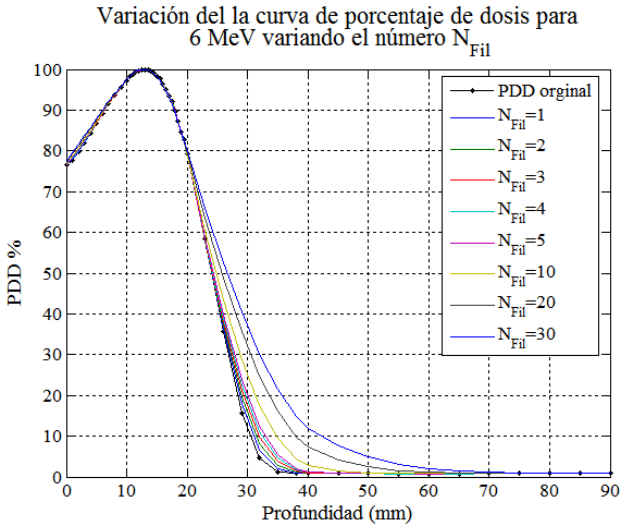


Figura 3. Modificación de la curva de PDD al aumentar el número de veces que se aplica el filtro (N_{Fil})

Para el caso de electrones, las modificaciones que sufren los resultados dependen más fuertemente de N_{fil}, como se visualiza en la Figuras 3, y 4. Conforme aumenta el número N_{fil} se presenta una mayor modificación de la curva, sobre todo en la región de la cola, llegando a alcanzar diferencias del porcentaje de dosis para el PDD

en crudo respecto a los filtrados (PDD_{MR} y PDD_{3pp}) de hasta 28% (Figura 4). En la Figura 4también se observa desde el primer suavizado para ambos tipos de filtro, la desviación es mayor del 2% de la dosis a las profundidades $X_{Electrones}$.

Al analizar el comportamiento de d_{max} obtenida del PDD en crudo vs PDD_{MR} y vs PDD_{3pp} (Tabla 3) se encontró que el valor d_{max} permanece estable desde N_{fil}=1(1,4) para ambos filtros, Δd_{max}=0.25(0.0, 1.5)mm y Δd_{max}=0.5(1,2)mm para PDD_{MR} y PDD_{3pp} respectivamente. Por lo tanto, no en necesario aplicar un filtro a los valores del PDD en crudo, ya que las modificaciones que produce si la resolución no es constante poder ser estadísticamente significativas

Finalmente se comparó el valor d_{max} de los datos de referencia de Varian vs d_{max} obtenida con PDD_{MR} y PDD_{3pp} tomando N_{fil} =1 (Tabla 4). El resultado de la diferencia al comparar las d_{max} con el PDD_{MR} es Δd_{max}=1.4(0.2,4.2)mm y con PDD_{3pp} es Δd_{max}=1.95(0.15,4.2)mm.

IV.CONCLUSIONES

Se logró validar el filtro proporcionado por el software MePhysTo, obteniendo un mayor dominio y comprensión de su funcionamiento, así como las modificaciones que puede provocar en las curvas de dosis en profundidad. Se demostró que para el caso de fotones no es necesario aplicar el filtro más de 3 ocasiones y en el caso de electrones no es necesario, siempre. Tanto para el filtro propuesto como el de MePhysTo, al aumentar el número de veces que se aplicaba el filtro producía mayor diferencia con el PDD original, este efecto es producido por la baja resolución que se tiene sobre todo en la cola del PDD, por lo tanto es importante tener el cuenta la resolución con la que se toma el registro. Esta discrepancia que se tiene al aumentar el número N_{Fil} no tendría efecto si los PDD´s son remuestreados a la mayor resolución, es decir, manteniendo la frecuencia de muestreo constante.

Finalmente el filtro propuesto muestra un comportamiento muy similar al filtro MePhysTo, y para el caso de fotones, presenta mayor ventaja ya que la diferencia máxima en la d_{max} por ejemplo es menor que el filtro MePhysTo, además de que tanto para ambas modalidades de energía el valor máximo erá en la mayoría de los casos único (N_{max}). Con este trabajo se logra entender la caja negra que representaba el suavizado mediante un software comercial, lo cual proporciona un mayor control de los datos y beneficios en futuras calibraciones ya que se logra entender el proceso que sufren los datos.

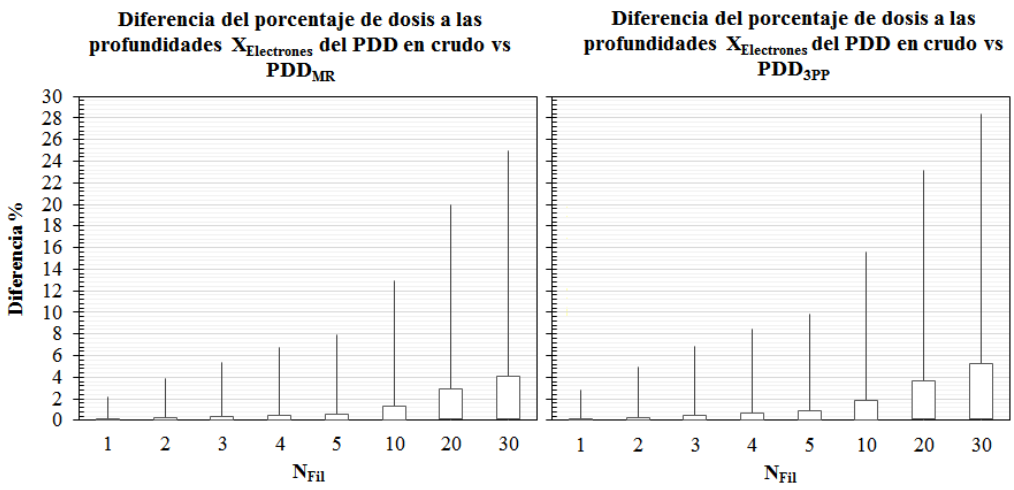


Figura 4. Diferencia del porcentaje de dosis obtenido al comparar el PDD sin filtrar vs el PDD filtrado con MePhysTo y programado en MatLab (PDD_{MR}) y el filtro propuesto PDD_{3pp} para las Electrones; variando el número de veces que se aplica el filtro (N_{Fil})

		Filtro MePhysTo			Filtro Propuesto		
Energía (MeV)	d_{max} (mm)	N_{fil}	Δd_{max} (mm)	N_{max}	N_{fil}	Δd_{max} (mm)	N_{max}
6	13.0	1	0.0	1	1	0.0	1
9	20.0	1	0.5	1	1	0.5	1
12	28.5	1	0.0	1	1	0.0	1
15	33.5	2	0.5	1	1	0.5	1
16	33.0	1	0.0	1	1	0.0	1
18	30.0	1	0.5	2	1	2.0	1
20	30.50	4	1.5	4	4	1.0	1
22	26.50	1	0.0	1	3	0.5	1

Tabla 3. NFil contiene el valor en el que después de aplicar el filtro cierto número de veces, la dmax no varía (mínimo 3 valores consecutivos iguales), Δd_{max} es la diferencia de las profundidades de dosis máxima obtenido del PDD original, vs los PDD filtrados (PDD_{MR} y PDD_{3pp}) con Electrones

Energía	Varian	PDD_{MR}	PDD_{3pp}
(MV)	d_{max} (mm)	Δd_{max} (mm)	Δd_{max} (mm)
6	13.15	0.2	0.15
9	20.70	0.2	0.2
12	28.10	0.4	0.4
15	30.70	2.8	2.3
16	31.40	1.6	1.6
18	28.05	1.5	3.95
20	26.30	4.2	4.2
22	24.20	2.3	2.8

Tabla 4. Resultados al comparar la profundidad de dosis máxima en los PDD filtrados con MePhysTo (PDDMR) y el propuesto (PDD3pp) vs el PDD de referencia de Varian con Electrones

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Beyer Gp. Commissioning Measurements for photon beam data on three truebeam linear accelerators, and comparison with trilogy and Clinac 2100 Linear Accelerators. Journal Of Applied Clinical Medical Physics / American College Of Medical Physics. 2013 Jan [Cited 2013 Jul 1];14(1):4077.

2. Chang Z, Wu Q, Adamson J, Ren L, Bowsher J, Yan H, et al. Commissioning and dosimetric characteristics of TrueBeam system: composite data of three TrueBeam machines. Medical physics. 2012 Dec;39(11):6981–7018.

3. Glide-Hurst C, Bellon M, Foster R, Altunbas C, Speiser M, Altman M, et al. Commissioning of the Varian TrueBeam linear accelerator: a multi-institutional study. Medical physics. 2013 Mar;40(3):031719. 4. Medical A. Factors impacting the dose at maximum depth dose (dmax) for 6 MV high-energy photon beams using different dosimetric detectors. 2010;2(2):38–42.

5. Das IJ, Cheng C-W, Watts RJ, Ahnesjö A, Gibbons J, Li XA, et al. Accelerator beam data commissioning equipment and procedures: Report of the TG-106 of the Therapy Physics Committee of the AAPM. Medical Physics. 2008

Contacto para correspondencia:
Autor: M. en C. Norma Paola Martínez García
Institución: Instituto Nacional de Ciencias Médicas y Nutrición “Salvador Zubirán”
País: México
Correo electrónico: paola.mar@ciencias.unam.mx