



Uso de barreras primarias en función del ángulo del gantry en búnker de radioterapia

Use of primary barriers as a function of gantry angle in radiotherapy bunker.

Uso de barreiras primárias em função do ângulo do gantry em bunkers de radioterapia.

 <https://doi.org/10.35954/SM2023.42.2.2.e301>

Germán Huertas ^a  <https://orcid.org/0000-0004-7555-4013>

Gustavo Píriz ^b  <https://orcid.org/0000-0001-5922-308X>

Diego Guinovart ^c  <https://orcid.org/0009-0008-4437-6874>

Diego Bertini ^d  <https://orcid.org/0009-0006-9652-8177>

Yolma Banguero ^e  <https://orcid.org/0000-0003-0791-3876>

(a,b,c,d,e) Clínica Doctores Leborgne. Héctor Gutiérrez Ruiz 1210, C.P. 11100, Montevideo, Uruguay.

(e) Centro de Investigaciones Nucleares, Facultad de Ciencias, Universidad de la República, Montevideo, Uruguay.

RESUMEN

Introducción: el diseño de los búnkeres de radioterapia es de vital importancia no solo por la seguridad radiológica, sino también por el costo que implican.

Los cálculos de blindaje de las paredes primarias de los búnkeres de los aceleradores lineales de radioterapia se determinan a partir del factor de uso de estas paredes. Los documentos internacionales como el NCRP 151 utilizan para el cálculo de estas barreras un factor de uso igual a 0.25.

Objetivo: estudiar la distribución del uso de las barreras primarias en función de los tratamientos realizados buscando contrastar la homogeneidad en el uso de las barreras.

Material y Métodos: con los datos de pacientes realizados durante un año (2021) en dos aceleradores lineales, uno dual y otro monoenergético, se generó una base de datos con la que se calculó la frecuencia de uso de las paredes primarias.

En el presente trabajo se evalúa la diferencia entre el uso dado de las barreras y las estimaciones de uso internacional.

Resultados: se encuentra que en el acelerador dual en la energía de 15X los campos más usados tienen ángulos de gantry 0°, 90°, 180°, 270°, teniendo un peso acumulado aproximado al 65% al igual que la carga de trabajo para esos ángulos, esto implica que los ángulos diferentes a estos tienen un uso muy inferior al previsto por el cálculo inicial. En el acelerador dual en la energía de 6X el campo más usado es a 0° teniendo un peso aproximado al 14%, pero la carga de trabajo a 0° no se diferencia apreciablemente del resto de los ángulos ya que la distribución no tiene direcciones preferenciales, ninguno de los valores por integración de 10° de ángulos de gantry llega a 10%, lo que concuerda con el uso homogéneo de la barrera. En el acelerador monoenergético el peso relativo de los ángulos de 90° y 270° en el uso de las barreras es aproximadamente 34% para cada una, superior al 25% estimado inicialmente.

Recibido para evaluación: mayo 2023

Aceptado para publicación: junio 2023

Correspondencia: Mataojo 2055, C.P. 11400, Montevideo, Uruguay. Tel.: (+598) 095367205.

E-mail de contacto: ybanguero@cin.edu.uy

Conclusiones: las barreras primarias de los búnkeres de radioterapia tienen espesores marcados por el cálculo de blindaje, los cuales se pueden hacer basados en documentos internacionales que son referencia del tema. Se considera en las referencias para la barrera primaria un factor de uso igual para las mismas, sin embargo en la práctica clínica se puede tener un factor de uso no uniforme respondiendo a los tipos de tratamientos que se designen realizar en el equipo. Esta realidad abre la puerta para plantear blindajes optimizados que podrían generar búnkeres más económicos y mejor utilización del espacio de acuerdo a las condiciones dadas para cada caso en particular.

PALABRAS CLAVE: Blindaje contra Radiaciones; Protección Radiológica; Radioterapia.

ABSTRACT

Introduction: The design of radiotherapy bunkers is of vital importance not only for radiation safety, but also for the cost involved.

The shielding calculations of the primary walls of radiotherapy linear accelerator bunkers are determined from the use factor of these walls. International documents such as NCRP 151 use for the calculation of these barriers a usage factor equal to 0.25.

Objective: To study the distribution of the use of primary barriers according to the treatments performed, seeking to contrast the homogeneity in the use of the barriers.

Material and Methods: With the data of patients performed during one year (2021) in two linear accelerators, one dual and the other monoenergetic, a database was generated with which the frequency of use of the primary walls was calculated.

The present work evaluates the difference between the given use of the barriers and the estimates of international use.

Results: It is found that in the dual accelerator at 15X energy the most used fields have gantry angles 0°, 90°, 180°, 270°, having an accumulated weight of approximately 65% as well as the workload for those angles, this implies that the angles different from these have a use much lower than the one foreseen by the initial calculation. In the dual accelerator at 6X energy the most used field is at 0° having an approximate weight of 14%, but the workload at 0° is not appreciably different from the rest of the angles since the distribution does not have preferential directions, none of the values of 10-degree integrations for gantry angles reach 10% which is consistent with the homogeneous use of the barrier.

In the monoenergetic accelerator, the relative weight of the 90° and 270° angles in the use of the barriers is approximately 34% for each one, higher than the 25% initially estimated.

Conclusions: The primary barriers of radiotherapy bunkers have thicknesses marked by the shielding calculation, which can be made based on international documents that are a reference on the subject. It is considered in the references for the primary barrier an equal use factor for them, however in clinical practice they can have a non-uniform use factor responding to the types of treatments that are designed to be performed in the equipment. This reality opens the door to propose optimized shielding that could generate more economical bunkers and better use of space according to the conditions given for each particular case.

KEYWORDS: Radiation Protection; Radiotherapy; Shielding against Radiation.



RESUMO

Introdução: O projeto de bunkers de radioterapia é de vital importância não apenas para a segurança da radiação, mas também para o custo envolvido.

Os cálculos de blindagem para as paredes primárias dos bunkers de aceleradores lineares de radioterapia são determinados com base no fator de uso dessas paredes. Documentos internacionais, como o NCRP 151, usam um fator de uso igual a 0,25 para o cálculo dessas barreiras.

Objetivo: estudar a distribuição do uso de barreiras primárias de acordo com os tratamentos realizados, buscando contrastar a homogeneidade no uso das barreiras.

Material e métodos: com os dados de pacientes tratados durante um ano (2021) em dois aceleradores lineares, um dual e outro monoenergético, foi gerado um banco de dados com o qual foi calculada a frequência de uso das paredes primárias.

Este artigo avalia a diferença entre o uso determinado de barreiras e as estimativas internacionais de uso.

Resultados: verifica-se que no acelerador duplo com energia de 15X os campos mais utilizados são os ângulos de pórtico 0°, 90°, 180°, 270°, com um peso acumulado de aproximadamente 65%, assim como a carga de trabalho para esses ângulos, o que implica que os ângulos diferentes desses têm um uso muito menor do que o previsto pelo cálculo inicial. No acelerador duplo a 6X de energia, o campo mais utilizado é o de 0° com um peso aproximado de 14%, mas a carga de trabalho em 0° não é sensivelmente diferente do resto dos ângulos, já que a distribuição não tem direções preferenciais, nenhum dos valores por integração de 10° dos ângulos de gantry chega a 10%, o que é consistente com o uso homogêneo da barreira.

No acelerador de monoenergia, o peso relativo dos ângulos de 90° e 270° no uso das barreiras é de aproximadamente 34% para cada um, superior aos 25% estimados inicialmente.

Conclusões: as barreiras primárias dos bunkers de radioterapia têm espessuras balizadas pelo cálculo de blindagem, que pode ser feito com base em documentos internacionais que são referência no assunto. As referências para a barreira primária consideram um fator de uso igual para elas, mas na prática clínica elas podem ter um fator de uso não uniforme, dependendo do tipo de tratamento que o equipamento foi projetado para realizar. Essa realidade abre as portas para uma blindagem otimizada que poderia gerar bunkers mais econômicos e melhor uso do espaço de acordo com as condições dadas para cada caso específico.

PALAVRAS-CHAVE: Blindagem contra Radiação; Proteção Radiológica; Radioterapia.

INTRODUCCIÓN

En las prácticas con radiaciones la radioprotección es un pilar que demarca la estructura de las instalaciones y la forma de trabajo. En el caso de la radioterapia la construcción de los búnkeres está determinada por el tipo de equipamiento a instalar, las energías disponibles, las técnicas a utilizar, las condiciones de trabajo del personal, la cantidad de pacientes a tratar y las zonas aledañas a la instalación. Los búnkeres son diseñados para satisfacer la seguridad en relación con la no sobreexposición de los trabajadores ocupacional-

mente expuestos (TOE) y del público, asegurando que se cumplen con los límites de dosis establecidos para cada uno de ellos.

Existen múltiples referencias para realizar los cálculos de blindaje, McGinley (1), NCRP 151 (2), DIN-6847 (3), IPREM Reporte 5 (4) y el SRS 47 publicado por la IAEA (5).

En general, para los cálculos de los búnkeres de aceleradores lineales usados en radioterapia, el blindaje se calcula de una forma parecida, teniendo estimaciones generales para calcular las condiciones de trabajo.

Es así como en el NCRP 151 (1) que es uno de los documentos más usados, las directrices tienen en cuenta condiciones de trabajo genéricas que pueden llevar a cálculos lejanos a lo que se realiza en la práctica. Utilizando la metodología y nomenclatura de este documento se definen los términos que se usarán en este trabajo.

El factor de uso (U) es la fracción de una carga de trabajo de haz primario que se dirige hacia una barrera primaria dada. Considerando para el caso de aceleradores lineales los ángulos de 0°, 90°, 180° y 270° como los ángulos primarios. El factor de uso en función del ángulo del gantry es la fracción de carga de trabajo (W) para la cual el haz es orientado en un ángulo del gantry.

En los trabajos Kwon *et al.* (6) y Kwang *et al.* (7) se analizan las cargas de trabajo en condiciones de tratamiento de los pacientes en forma retrospectiva. Slotman *et al.* (8) analizan el incremento esperado de W de un acelerador a lo largo del tiempo.

Existen varios trabajos que realizan consideraciones específicas para técnicas más complejas (9,10,11), o estudios comparativos de la influencia de la W de fugas para aceleradores con IMRT (Intensity-Modulated Radiotherapy) (12,13,14,15), así como el cálculo de los factores de uso de IMRT y VMAT (Volumetric-Modulated Arc Therapy) (16,17).

Al aumentar la complejidad de las técnicas, el tiempo relativo utilizado realizando imágenes es mayor, al igual que el tiempo usado para hacer controles de calidad (18), esto lleva a disminuir la cantidad de pacientes por equipo.

Dado que el uso de los búnkeres se puede analizar mejor por las herramientas de recolección de datos, se han realizado trabajos retrospectivos (19,20,21) que calculan el U de las paredes del búnker así como el factor de IMRT y realizan un desglose del U por energía (17) y tamaño de campo (22).

De acuerdo al NCRP 151 el cálculo del espesor necesario en la barrera primaria está dado por el

cálculo del factor de transmisión de la barrera primaria, B_{pri} , definido de la siguiente manera:

$$B_{pri} = \frac{Pd_{pri}^2}{WUT} \quad [1]$$

Siendo P el objetivo de dosis semanal detrás de la barrera (Sv/sem), d_{pri} la distancia al punto de cálculo, W la carga de trabajo absorbida en el isocentro en una semana (Gy/sem), U el factor de uso de la pared que protege el punto a evaluar y T el factor de ocupación del espacio a proteger. Con estos resultados se calcula la cantidad de espesor de material ($t_{barrier}$) que se precisa para alcanzar el objetivo de dosis P a través del espesor de material que se requiere, la ecuación reporta esta información indicando la cantidad de TVL necesarios, donde TVL se le llama al espesor de material que se requiere para que se reduzca a una décima parte la radiación incidente después de haber atravesado un material determinado. Para llegar al valor de $t_{barrier}$ se requiere calcular primeramente el valor de la cantidad de TVL_s necesarios (n) de la siguiente forma:

$$n = -\log(B_{pri}) \quad [2]$$

$$t_{barrier} = TVL_1 + (n - 1)TVL_e \quad [3]$$

Posteriormente con la ecuación [3] se determina el espesor de la barrera, que depende de n y este último del cálculo de B_{pri} , ecuación [2], asumiendo que B_{pri} , ecuación [1] solo depende de U, es decir, los otros elementos de la ecuación son constantes, al disminuir el valor de U se tiene que disminuye el espesor de la barrera y viceversa en el caso de aumento de U.

Si los valores de U sobre una barrera no son una constante entonces la implicación de este factor sobre la barrera hace que no sea de un solo espesor para esta.

En el NCRP 151 el factor de uso para las barreras primarias (laterales, techo y suelo) es 0,25. Esto implica considerar un uso igualitario para cada una de las mismas.



En este trabajo estudiamos la distribución del uso de las barreras primarias en función de los tratamientos realizados, es una evaluación retrospectiva para contrastar qué tan homogéneo es el uso de las barreras.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se generó una base de datos registrando las características de los campos de tratamiento con fotones realizados en el año 2021 para radioterapia 3D conformada en los aceleradores lineales varían 2100SC y 600C/D, el primero dual con energías de 6 y 15 MV y el segundo con energía de 6 MV. El registro se elaboró para realizar controles de calidad de pacientes a partir de la información de salida de la hoja de tratamiento de planes elaborados en el sistema de planificación XIO de la Clínica Dres. Leborgne.

Basados en un programa desarrollado por la Universidade de Estadual de Campinas, Brasil que lleva como nombre Confront (23), se llegó a partir de modificaciones que se le realizaron, a la obtención de una herramienta adaptada para uso en nuestra clínica. La anterior la utilizamos en el cálculo de verificación de dosis y a partir de este proceso se generó una

base de datos de tratamientos de pacientes. Haciendo uso de esta base de datos de los tratamientos de pacientes se filtraron los campos por energía del haz; cantidad de unidades monitor (UM), término que nos relaciona con la dosis del campo de tratamiento; número de campos y ángulo de gantry. A partir de los datos anteriores se discrimina para cada una de las energías en función del ángulo de gantry una ponderación por cantidad de campos como por UM entregadas. Considerando los datos recopilados se presentan gráficas de frecuencia porcentual de campos y de UM utilizadas en función del ángulo de gantry para cada una de las energías.

RESULTADOS

Se presentan a continuación los gráficos en formato de histograma circular con la frecuencia porcentual del número de campos de tratamiento y de la frecuencia porcentual de UM en función del ángulo de gantry discriminados por equipo de tratamiento y energía del haz.

La figura 1 muestra la distribución del uso porcentual de las barreras primarias en el acelerador 2100SC con la energía de 6 MV.

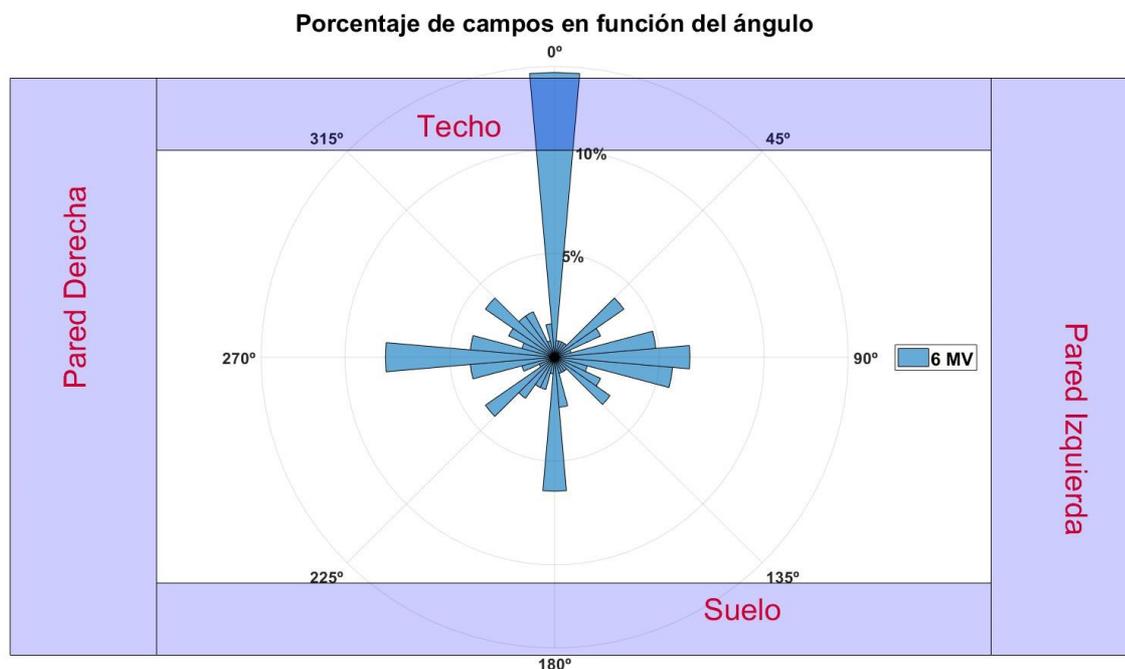


Figura 1. Frecuencia porcentual de campos en función del ángulo de gantry, equipo Varian 2100SC, energía 6 MV.

La distribución del uso porcentual de las barreras primarias en el acelerador 2100SC con la energía de 15 MV se ven en la figura 2.

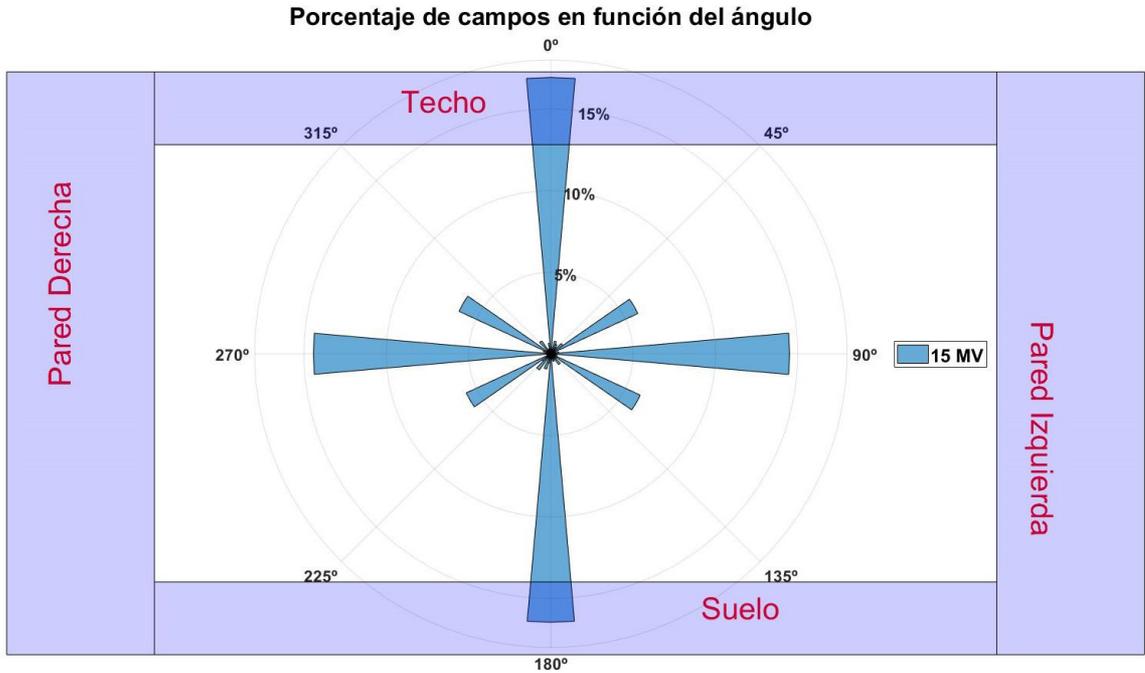


Figura 2. Frecuencia porcentual de campos en función del ángulo de gantry, equipo Varian 2100SC, energía 15 MV.

La distribución del uso porcentual de las barreras primarias en el acelerador 600C\D con la energía de 6 MV la observamos en la figura 3.

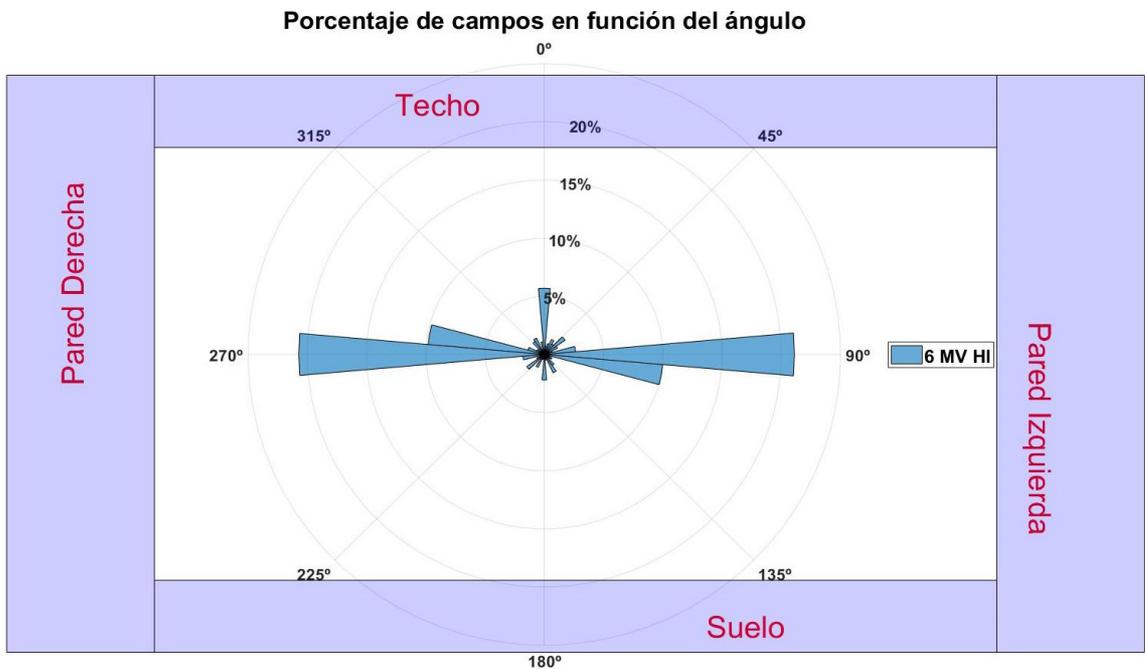


Figura 3. Frecuencia porcentual de campos en función del ángulo de gantry, equipo Varian 600C\D, energía 6 MV.



En las figuras posteriores se observa el uso de las barreras primarias en función del ángulo de gantry en relación a las UM entregadas. La figura 4, muestra la distribución de la frecuencia porcentual de las UM entregadas relacionadas con el ángulo de gantry del campo de tratamiento para el acelerador Varian 2100SC con la energía de 6 MV.

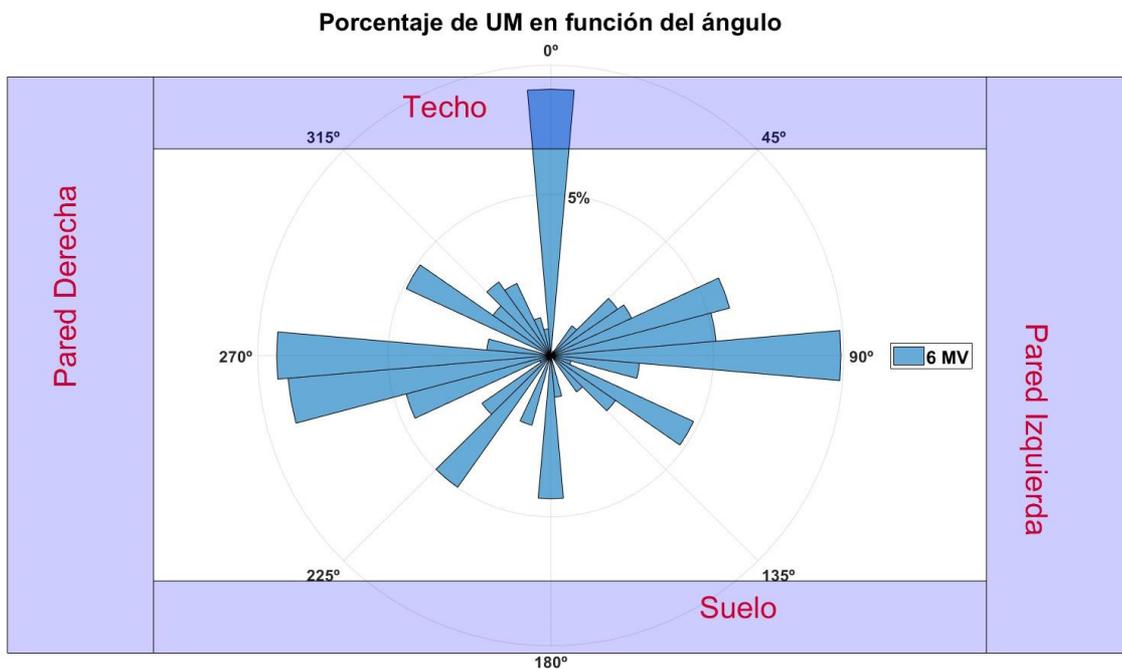


Figura 4. Frecuencia porcentual de UM en función del ángulo de gantry, equipo Varian 2100SC, energía 6 MV.

La figura 5 permite ver para el equipo Varian 2100SC con energía de 15 MV la distribución de UM en función del ángulo del gantry.

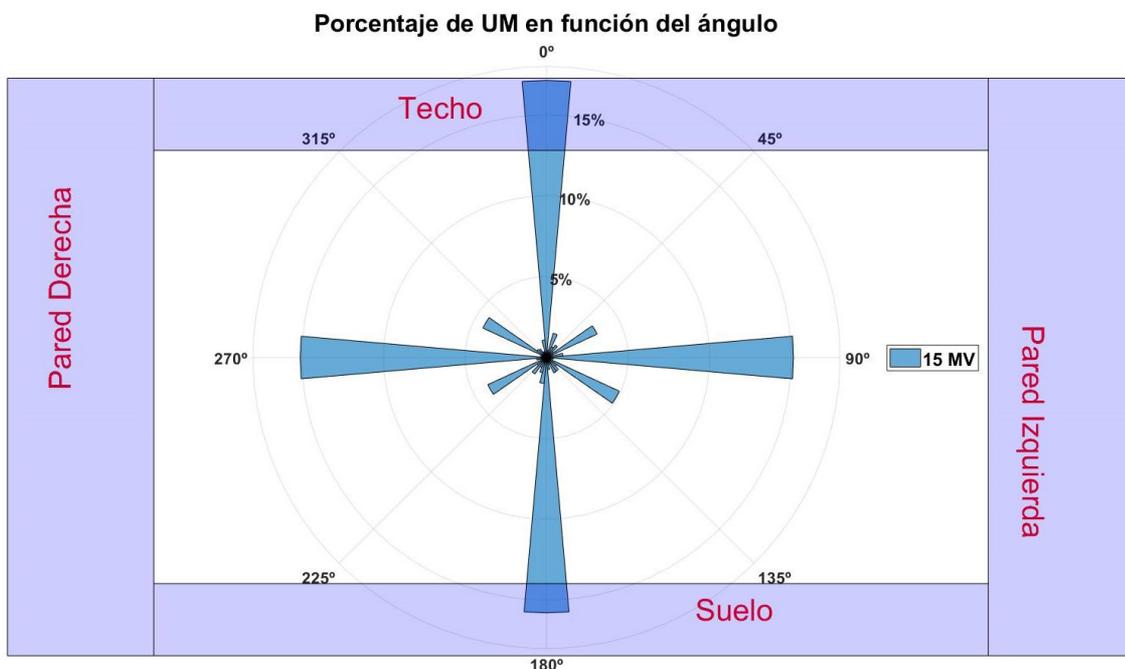


Figura 5. Frecuencia porcentual de UM en función del ángulo de gantry, equipo Varian 2100SC, energía 15 MV.

En la figura 6 se presenta la distribución de UM en función del ángulo del gantry para el acelerador Varian 600C\D.

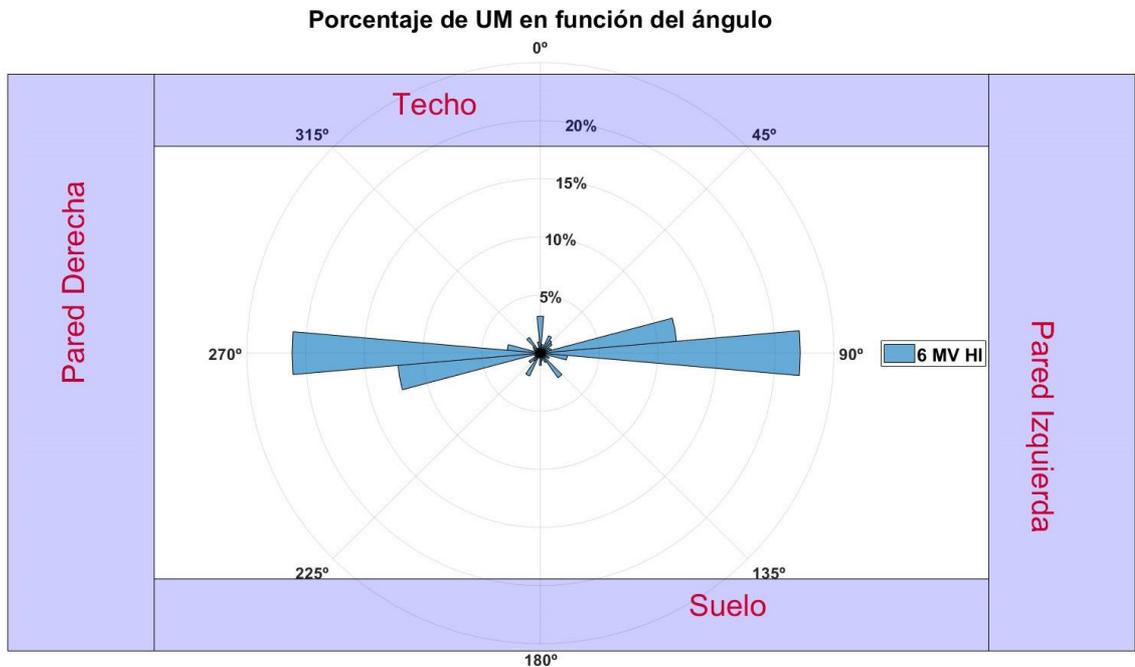


Figura 6. Frecuencia porcentual de UM en función del ángulo de gantry, equipo Varian 600C\D, energía 6 MV.

DISCUSIÓN

El uso de los búnkeres en radioterapia se corresponde con los tratamientos que se realizan en el mismo. Cuando se tiene un solo equipo en un centro y este trata todas las patologías del lugar, se pueden encontrar distribuciones de uso de las paredes primarias del búnker más homogéneas. Al disponer de varios equipos y energías los centros tienen la opción de designar de acuerdo con las patologías el equipo más adecuado. Los gráficos anteriores muestran la distribución de tratamientos en la clínica por equipo y energía, privilegiando el uso de ciertas técnicas que implican campos laterales en el equipo Varian Clinac 600C/D figuras 3 y 6 y la utilización del equipo dual para tratamientos con técnicas más diversas, lo que se constata en las figuras 1, 2, 4 y 5. El análisis realizado evidencia una realidad que se deriva de la aplicación estricta del documento NCRP 151, en la que se toman los valores de U de la barrera primaria de modo uniforme

a lo largo de cada una de las 4 superficies que recorre la proyección del gantry sobre la superficie de la sala de tratamiento. Analizando la distribución de patologías tratadas por acelerador y técnicas de tratamiento, se observa que hay barreras en las que quedarían sobredimensionados sus espesores si estos valores de U se toman de manera uniforme, implicando esto una sobreestimación del blindaje necesario para cumplir los límites de dosis a TOE y a público establecidas. Hay una similitud esperable entre las figuras 1 y 4 que muestran para el mismo acelerador y misma energía 6 MV, la distribución del uso de las barreras en relación con el ángulo del gantry por cantidad porcentual de campos de tratamientos y de UM. Análogamente se tiene una semejante representación en las figuras 2 y 5 en este caso para la energía de 15 MV. Aunque todas estas figuras corresponden al mismo acelerador lineal, se constata la diferencia entre ellas, pues la posibilidad de usar dos energías permite tener más variables de optimización de los tratamientos y claramente se



ve el cambio del perfil de uso de estas barreras por energía en el mismo equipo, teniendo más heterogeneidad de ángulos de gantry para la energía de 6 MV que para la energía de 15 MV.

Similarmente, se tiene para las figuras 3 y 6 distribuciones similares del uso del gantry, ambas figuras permiten ver los histogramas porcentuales obtenidos para el equipo Clinac 600C/D.

A partir de las figuras 2 y 5 se encuentra que en el acelerador dual en la energía de 15X los campos más usados son a ángulos de gantry de 0° , 90° , 180° y 270° , los cuales tienen un peso acumulado aproximado al 65% al igual que la carga de trabajo para esos ángulos, esto implica que los ángulos diferentes a estos tienen un uso muy inferior al previsto por el cálculo inicial.

Un análisis parecido puede realizarse en el acelerador dual para la energía de 6X, ver figuras 1 y 4, donde el campo más usado es a 0° teniendo un peso aproximado al 14%, pero la carga de trabajo a 0° no se diferencia apreciablemente del resto de los ángulos ya que la distribución no tiene direcciones preferenciales, esto lleva a que ninguno de los valores en integraciones de 10° llegue a 10%, lo que concuerda con el factor de uso homogéneo. Mientras que en el acelerador mono-energético el peso relativo de los ángulos de 90° y 270° en el uso de las barreras es aproximadamente de 34% para cada una como se ve en las figuras 3 y 6, superior al 25% estimado inicialmente.

En la revisión de la literatura (6,22,23) se encuentran análisis retrospectivos que comprueban una sobreestimación del blindaje a la hora del cálculo de este, la intención de esta publicación es desde una revisión de nuestra realidad, ver la necesidad de plantear un método de cálculo de blindaje prospectivo que tenga en cuenta la bibliografía existente y los datos específicos de trabajo con aceleradores, de tal manera que se alcance un cálculo de blindaje más optimizado y personalizado para cada acelerador que no implique la

misma cantidad de espesor y ancho de blindaje en barrera primaria a lo largo de todo el recorrido de la proyección del gantry sobre la superficie de la sala de tratamiento, en este caso evaluando el perfil de uso de las paredes. En particular, al tener los datos de los campos de: la energía, las UM, el tamaño de campo y los ángulos de gantry y colimador podemos determinar el espesor y el área para el haz primario en ese recorrido. De esta manera se podrían lograr los límites de dosis equivalentes al público y a TOE con un blindaje más optimizado, permitiendo alivianar el costo económico de su construcción manteniendo los límites de dosis por debajo de los exigidos dentro de las normas de radioprotección establecidas.

CONCLUSIÓN

El uso de las barreras primarias en búnkeres de radioterapia en principio está estipulado por los documentos de las recomendaciones internacionales, en las cuales se plantea un valor homogéneo del mismo para todas las barreras. Dentro de la práctica clínica no necesariamente su uso es uniforme, lo que permitiría realizar a partir de optimizaciones de la construcción, espesores de barrera distintos de acuerdo a la prospección de uso de las mismas, permitiendo de esta forma economizar en material y espacio en la construcción de acuerdo a cada caso, esto siempre y cuando se conozca a priori cómo va a ser la distribución de campos de tratamiento en relación al gantry dentro del búnker y el peso de los mismos. Similarmente, ya construido un búnker el conocer cómo se usan las barreras primarias permite en caso de haber modificaciones de técnica definir re-optimización de los blindajes.

DECLARACIÓN DE CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores no reportan ningún conflicto de interés. El estudio se realizó con recursos propios de los autores y/o la institución a la que representan.

REFERENCIAS

- (1) Martin M, McGinley PH. Shielding techniques for radiation oncology facilities: For radiation oncology facilities. 3a ed. Madison, WI: Medical Physics Publishing Corporation; 2020. <https://doi.org/10.1002/mp.14749>
- (2) NCRP Report 151 Structural shielding design and evaluation for megavoltage x-and gamma-ray radiotherapy facilities. J Radiol Prot [Internet]. 2006; 26(3):349-349. <http://dx.doi.org/10.1088/0952-4746/26/3/b01>
- (3) DIN 6847-2:2021-06: Medical electron accelerators - Part 2: Rules for construction of structural radiation protection. 2021. 2021-06 - Beuth.de [Internet]. Available from: <https://www.beuth.de/de/norm/din-6847-2/337138006> [Consulted 09/01/2023].
- (4) Horton P, Eaton D. Design and Shielding of Radiotherapy Treatment Facilities IPEM Report 75. Institute of Physics and Engineering in Medicine. 2017. Available from: <https://iopscience.iop.org/book/mono/978-0-7503-1440-4> [Consulted 10/01/2023].
- (5) Safety Reports Series No. 47. Radiation Protection in the Design of Radiotherapy Facilities [Internet]. Available from: <https://www.iaea.org/publications/7197/radiation-protection-in-the-design-of-radiotherapy-facilities> [Consulted 10/01/2023].
- (6) Kwon N, Shin D, Ann S, Kim J, Choi S, Kim D. Analysis of radiation safety management status of medical linear Accelerator facilities in Korea, Nuclear Engineering and Technology 2022; 54:449-455. <https://doi.org/10.1016/j.net.2021.06.002>
- (7) Cho K, Jung J, Min C, Bae S, Moon S, Kim E, *et al.* Survey of Radiation Shielding Design Goals and Workload Based on Radiation Safety Report: Tomotherapy Vault. Prog Med Phys 2018; 29(1):42-46. <https://doi.org/10.14316/pmp.2018.29.1.42>
- (8) Slotman B, Vos P. Planning of radiotherapy capacity and productivity. Radiotherapy and Oncology 2013; 106:266-270. [https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140\(13\)00058-3/fulltext](https://www.thegreenjournal.com/article/S0167-8140(13)00058-3/fulltext)
- (9) Mutic S, Low D. Whole-body dose from tomotherapy delivery. Rad Oncol Biol Phys 1998; 42(1):229-232. doi: 10.1016/s0360-3016(98)00199-0.
- (10) Intensity Modulated Radiation Therapy Collaborative Working Group. Intensity-modulated radiotherapy: current status and issues of interest. Int J Rad Oncol Biol Phys 2001; 51(4):880-914. doi: 10.1016/s0360-3016(01)01749-7.
- (11) Followill D, Geis P, Boyer A. Estimates of whole-body dose equivalent produced by beam intensity modulated conformal therap. Int J Rad Oncol Biol Phys 1997; 38(3):667-672. [https://doi.org/10.1016/S0360-3016\(97\)00012-6](https://doi.org/10.1016/S0360-3016(97)00012-6)
- (12) Mechalakos J, Germain J, Burman C. Results of a one year survey of output for linear accelerators using IMRT and non-IMRT techniques. J Appl Clin Med Phys 2004 Winter; 5(1):64-72. doi: 10.1120/jacmp.v5i1.1960.
- (13) Kairn T, Crowe SB, Trapp JV. Correcting radiation survey data to account for increased leakage during intensity modulated radiotherapy treatments. Med Phys 2013 Nov; 40(11):111708. doi: 10.1118/1.4823776.
- (14) Rodgers JE. Radiation therapy vault shielding calculational methods when IMRT and TBI procedures contribute. J Appl Clin Med Phys 2001 Summer; 2(3):157-64. doi: 10.1120/jacmp.v2i3.2609.
- (15) Stathakis S, Price R Jr, Ma CM. Dosimetry validation of treatment room shielding design. Med Phys 2005 Feb; 32(2):448-54. doi: 10.1118/1.1853632.



(16) Reis P, Alves V, Fairbanks L. Total Workload for Radioactive Facilities with Volumetric Modulated Arc Treatment. *Braz J Rad Sci* 2019; 7(3):1-13. <https://doi.org/10.15392/bjrs.v7i3.928>

(17) Saleh ZH, Jeong J, Quinn B, Mechalakos J, St Germain J, Dauer LT. Results of a 10-year survey of workload for 10 treatment vaults at a high-throughput comprehensive cancer center. *J Appl Clin Med Phys* 2017 May; 18(3):207-214. doi: 10.1002/acm2.12076.

(18) Beech R, Burgess K, Stratford J. Process evaluation of treatment times in a large radiotherapy department. *Radiography* 2016; 22(3):206-216. <http://dx.doi.org/10.1016/j.radi.2016.03.001>

(19) Choi D, Ahn S, Park S, Wook D, Ahn W, Lee R, *et al.* Reanalysis of Linear Accelerator Use Factors for Shielding Calculations based on DICOM-RT, *Research Square* 2023; PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2592495/v1>

(20) Choi D, Ahn S, Kim D, Choi S, Kim J. Development of O-ring Type Radiation Treatment Equipment Shielding Evaluation and Management Program. *Research Square* 2023; PREPRINT (Version 1) available at Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-2683655/v1>

(21) Rigo I, Cunha A, Emiliozzi C, Menegussi G. 11-year workload and barrier analysis for a high-energy linear accelerator. *Braz J Rad Sci* [Internet]. 2021 Jun. 25; 9(2). <https://doi.org/10.15392/bjrs.v9i2.1687>

(22) Kron T, Aldrich B, Jovanovic K, Howlett S, Hamilton C. Workload and use factor of medical linear accelerators in radiotherapy. *Health Phys* 1995; 69(6):971-975. doi: 10.1097/00004032-199512000-00014.

(23) Borges M, Lima R, Pereira F, Costa P, Santos T, Antonio T, *et al.* CONFRONT: Proposta e implementação de um conferidor automático de cálculo em R a partir do XiO®. *Revista Brasileira de Física Médica* 2022; 16:595-602. <https://doi.org/10.29384/rbfm.2022.v16.19849001595>

CONTRIBUCIONES AL MANUSCRITO:

- (a) Diseño, análisis de datos, interpretación y discusión de resultados.
- (b) Concepción, diseño, análisis de datos, interpretación y discusión de resultados.
- (c) Adquisición de datos y análisis de datos.
- (d) Adquisición de datos, redacción y revisión crítica.
- (e) Concepción, diseño, interpretación y discusión de resultados, redacción, revisión crítica y aprobación de la versión final.

NOTA: este artículo fue aprobado por el Comité Editorial.