

## Evaluación del desempeño de tres dispositivos dosimétricos para el control de calidad paciente específico en radiocirugía

*Performance assessment of three dosimetric devices for patient-specific quality control in radiosurgery*

Andrés F. Limas Montaña<sup>1</sup>, Jorge E. Muñoz-Bravo<sup>1,2</sup>

**Citación:** A. Limas y J. Muñoz, “Evaluación del desempeño de tres dispositivos dosimétricos para el control de calidad paciente específico en radiocirugía”, *Revista Investigaciones y Aplicaciones Nucleares*, n.º 5, pp. 99-108, 2021. <https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.5.2021.606>

Revista Investigaciones y Aplicaciones

Nucleares, 5, 99-108, 2021

Recibido: 30 de junio de 2021

Aceptado: 29 de septiembre de 2021

Publicado en línea: 23 de diciembre de 2021

Doi: [https://doi.org/10.32685/2590-7468/](https://doi.org/10.32685/2590-7468/invapnuclear.5.2021.606)

invapnuclear.5.2021.606



Esta obra está bajo licencia internacional  
Creative Commons Reconocimiento 4.0.

### Resumen

Se evaluó el desempeño de tres sistemas dosimétricos en el control de calidad paciente específico, para casos de tratamientos de radiocirugía de volúmenes blanco entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup>. Se analizaron veinte planes de tratamiento de radiocirugía realizados con la técnica VMAT, calculados con el TPS Monaco. Se evaluó la dosis a punto con una cámara de ionización *pinpoint* dentro del inserto denominado Cavity Plug<sup>TM</sup> del dispositivo ArcCHECK, y se evaluaron las distribuciones de dosis mediante la función gamma-3D en el sistema ArcCHECK y mediante la función gamma-2D con el sistema dosimétrico conformado por película radiocrómica PRC-EBT3 y escáner Epson 10000XL, aplicando el criterio 5%/2 mm cuando TH = 50%. Usando el modo normal y de alta densidad del dispositivo ArcCHECK se evaluaron planes de tratamiento previamente calculados y aplicados en pacientes, teniendo en cuenta los criterios: 5%/2 mm, 5%/1 mm, 3%/3 mm, 3%/2 mm y 2%/2 mm. La dosis a punto mostró una diferencia menor al ±3,5%, el porcentaje de coincidencia de la función gamma-3D en el ArcCHECK se encontró viable únicamente para el control de calidad de planes de tratamiento de intensidad modulada de volúmenes mayores a 0,7 cm<sup>3</sup>, aplicando el criterio 3%/3 mm y TH = 50%, en modo de alta densidad. La coincidencia gamma-2D en la PRC-EBT3 mostró porcentajes de aprobación gamma entre 91-100% para el criterio 5%/2 mm con TH = 50%; dada su alta resolución espacial, este dispositivo puede proporcionar información de la distribución de la dosis en volúmenes de tratamiento de radiocirugía mayores a 0,7 cm<sup>3</sup> con el uso de un porcentaje de aprobación propuesto arriba del 85% cuando se utiliza el criterio 5%/1 mm y TH = 50%.

**Palabras clave:** control de calidad, paciente específico, ArcCHECK, película radiocrómica

<sup>1</sup> Maestría en Física Médica, Pontificia Universidad Javeriana, Bogotá, Colombia.

<sup>2</sup> Centro Javeriano de Oncología, Hospital Universitario San Ignacio, Bogotá, Colombia.

Autor de correspondencia: Jorge E. Muñoz-Bravo, [jemunoz@husi.org.co](mailto:jemunoz@husi.org.co)

### Abstract

The performance of three dosimetric systems for patient-specific quality control was evaluated for radiosurgery treatments with target volumes between 0.7-8.7 cm<sup>3</sup>. Twenty radiosurgery treatment plans performed using the VMAT technique and calculated using Monaco TPS were analyzed. The point dose was evaluated using a pinpoint ionization chamber, inside the insert known as a Cavity Plug<sup>TM</sup> of the ArcCHECK device, and the dose distributions were evaluated using the gamma-3D function in the ArcCheck system and the gamma-2D function with a dosimetric system composed of PRC-EBT3 radiochromic films and an Epson 10000XL scanner, where the 5%/2 mm criterion was applied for TH = 50%. An evaluation was performed of patient treatment plans, that had been previously calculated and applied, using the normal and high-density modes of the ArcCHECK device, under the following criteria: 5%/2 mm, 5%/1 mm, 3%/3 mm, 3%/2 mm and 2%/2 mm. There was less than a  $\pm 3.5\%$  difference in the point dose for the different criteria, and the percentage of coincidence of the gamma-3D function in the ArcCHECK was only viable for the quality control of intensity-modulated treatment plans with volumes greater than 0.7 cm<sup>3</sup> under the criterion 3%/3 mm and TH = 50% in high-density mode. The gamma-2D coincidence in the PRC-EBT3 showed gamma approval percentages between 91 and 100% under the 5%/2 mm criterion with TH = 50%; this device has a high spatial resolution and can therefore provide information on the dose distribution for radiosurgery treatment volumes above 0.7 cm<sup>3</sup> using a proposed pass rate above 85% under a 5%/1 mm criterion and TH = 50%.

**Keywords:** quality control, patient-specific, ArcCHECK, radiochromic film.

## 1. Introducción

**E**n la radioterapia moderna, en las modalidades de tratamiento con haces modulados en intensidad o arcoterapia conformada para volúmenes pequeños de tratamiento, se ha establecido un requerimiento de calidad denominado *control de calidad paciente específico* (patient-specific quality assurance, PSQA). Este es realizado a través de mediciones experimentales para cada paciente, previo al tratamiento, y busca determinar si la medida de la dosis administrada a un maniquí y la calculada para el paciente coinciden dentro de unas tolerancias aceptables que son definidas por cada institución [1], [2]. Los niveles de tolerancia y acción dependen de varios factores que son particulares y difieren con respecto al sistema de planificación, la unidad de tratamiento, el caso clínico y exactitud de los sistemas dosimétricos disponibles.

En la actualidad encontramos publicaciones que describen las diferentes pruebas [3], [4], [5] que sirven de guía para el control de calidad paciente específico. Al adelantar estas pruebas, un factor importante para asegurar resultados confiables consiste en la elección del equipo y los métodos de medición adecuados a la complejidad de las técnicas de

tratamientos con modulación de intensidad de los haces, o el uso de haces de sección transversal muy pequeños que implican retos en la determinación de la dosis [5].

Las técnicas actuales de administración de dosis se dividen en dos grupos: modalidades conformadas y de intensidad modulada. Para este estudio se utilizó la técnica arcoterapia volumétrica modulada (*volumetric modulated arc therapy*, VMAT) en la que cambia la velocidad angular de rotación del *gantry*, la tasa de dosis y la ubicación de las multihojas durante la administración de la dosis. En comparación con otras modalidades de modulación de intensidad, VMAT mejora la conformidad de la dosis [6], [7], [8].

Los métodos más comunes en el PSQA involucran determinación de dosis a punto mediante cámara de ionización, y la comparación 2D y 3D de las distribuciones de dosis [9], [10]. Entre estos últimos dispositivos, diversos centros usan el sistema ArcCHECK (Sun Nuclear) para comparaciones 3D de distribuciones de dosis, y han reportado sus experiencias [11], [12]. En situaciones en las que se requiera mejorar la resolución de las mediciones, ArcCHECK puede ser utilizado duplicando los puntos de medición, opción que es conocida por el fabricante como modo de *alta densidad*;

aunque este está comercialmente disponible, son pocas las publicaciones que informan de su uso [13], [14]. En el presente estudio, evaluamos el modo de alta densidad, contrastando las mediciones obtenidas con el modo habitual de uso de ArcCHECK al cual hemos denominamos *modo normal*

La dosimetría con película radiocrómica (PRC) se ha convertido en uno de los métodos más utilizados para la verificación del pretratamiento de planes específicos de pacientes. Entre las características que la hacen adecuada para la verificación de dosis de megavoltaje, se encuentran la baja dependencia de energía, la equivalencia tisular, la no dependencia angular de la respuesta, la no necesidad de revelado y su relativo bajo costo [15], [16], [17]. Las versiones actuales de la PRC pueden ser utilizadas para varios rangos de dosis y, debido a su resolución espacial, como dispositivo de dosis para planes de tratamiento altamente conformados. Varios autores han reportado el uso de PRC en el proceso de PSQA para tratamientos de intensidad modulada y han demostrado su compatibilidad con otros métodos de verificación de dosis [18], [19].

El objetivo del presente estudio es comparar tres sistemas de control de calidad de paciente específico para radiocirugía, basados en cámara de ionización, dispositivo ArcCHECK y películas radiocrómicas EBT-3, para así encontrar las ventajas y desventajas de cada uno de ellos y determinar la exactitud en la evaluación de la dosis entregada a volúmenes de tratamiento menores a  $10\text{ cm}^3$ .

## 2. Materiales y métodos

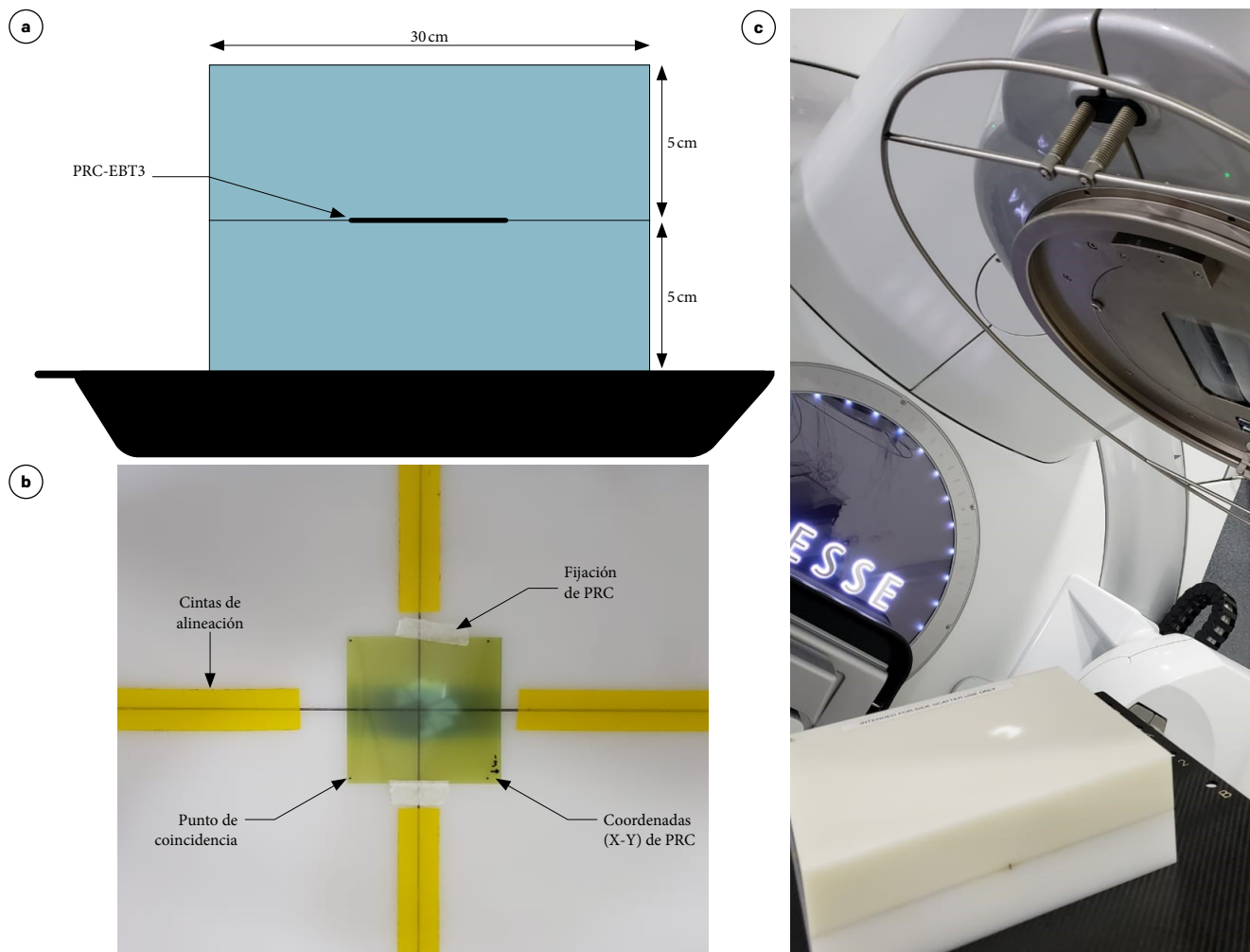
Se realizó el control de calidad paciente específico para 20 planes de tratamiento realizados con la técnica VMAT calculados en el sistema de planeación de tratamiento (SPT) Monaco 5.1. Los blancos a tratar tenían volúmenes de 0,7, 1,4, 2,5, 3,9 y  $8,7\text{ cm}^3$ , 4 pacientes por cada volumen. En todos los casos se utilizó una grilla de cálculo de 2 mm y una incertidumbre estadística por plan del 2 % para el cálculo de la dosis. Como unidad de tratamiento se utilizó el acelerador lineal Axesse de Elekta equipado con el sistema de colimación Beam Modulator y con un haz de 6 MV.

Los planes de tratamiento fueron exportados al sistema MOSAIQ y al sistema de control INTEGRITY de la unidad de tratamiento (un acelerador lineal, Linac, médico modelo Axesse). Se recalcularon los planes de tratamiento para la geometría del dispositivo ArcCHECK (en adelante AC) y un ma-

niquí de láminas de poliestireno donde se ubicaron posteriormente películas radiocrómicas: los resultados se exportaron en formato DICOM al *software SNC Patient* del AC. En una primera etapa, la verificación dosimétrica se realizó midiendo la dosis a punto con la cámara de ionización *pinpoint* modelo PTW-31016 y electrómetro PTW-UNIDOS E colocada en el interior de un inserto cilíndrico en acrílico del AC. La distribución de dosis 3D fue verificada en 3D con el dispositivo ArcCHECK<sup>TM</sup> y en 2D con la película radiocrómica EBT3, junto con el escáner Epson 10000XL. Previo a las adquisiciones dosimétricas de los planes de tratamiento en los maniqués (AC y láminas), se calibró el arreglo de detectores del AC de acuerdo con las recomendaciones del fabricante [20].

Se usaron las PRC de la firma fabricante Ashland Inc. con número de lote 2004744 con formato rectangular de  $20,32\text{ cm} \times 25,4\text{ cm}$  y fueron manipuladas y analizadas según las recomendaciones de la AAPM TG 55 [19]. La curva de calibración de las películas se obtuvo irradiando 8 recortes de  $6,7\text{ cm} \times 6,4\text{ cm}$  en diferentes niveles de dosis comprendidos entre [0-3] Gy en pasos de 0,3 Gy. Antes de ser irradiadas, las películas se marcan en las esquinas; esto facilita su alineación con las referencias del dispositivo conformado por dos láminas de poliestireno, cada una de  $30\text{ cm} \times 30\text{ cm}$  y 5 cm de espesor (figuras 1a y 1b). En una de las esquinas de cada bloque se marcaron las coordenadas X-Y que deben ser coincidentes con las coordenadas del Linac (figura 1b). Todas las películas fueron irradiadas y escaneadas manteniendo la orientación utilizada para su colocación en la mesa de tratamiento para eliminar cualquier dependencia con la posición y orientación de las PRC (figura 1c). En el procesamiento de las PRC se utilizó el *software Epson Expression* configurado en modo transmisión, con una resolución de escaneo de 75 pixeles por pulgada (75 pp) en el canal rojo, sin realizar correcciones de color y guardando las imágenes en formato TIFE.

La cámara de ionización fue colocada en la cavidad del inserto Cavity Plug<sup>TM</sup> del AC para obtener la medida de la dosis en el isocentro. En cada uno de los casos, la dosis medida  $D_{med}$  fue obtenida con el sistema electrómetro-cámara, siguiendo el cálculo de la dosis a punto según el TecDoc 398 [21], con un factor de corrección por la densidad electrónica de las láminas de poliestireno y comparada con la calculada por el TPS,  $D_{cal}$  y la dosis prescrita  $D_{pres}$ . La diferencia porcentual de dosis (DD) para cada uno de los volúmenes fue calculada mediante:



**Figura 1.** a) Esquema: maniquí conformado por dos láminas de poliestireno y la PRC; b) PRC fija en una de las láminas rectangulares coincidiendo en 4 puntos, con igual ubicación de coordenadas (X-Y) que el Linac y proyección de la retícula en gantry y colimador en 0° sobre 4 cintas para alineación; c) Centrado del dispositivo en el isocentro para realizar la medida

$$DD(\%) = \frac{D_{cal} - D_{med}}{D_{pres}} 100\% \quad (1)$$

Para la medición volumétrica de la distribución de la dosis, el dispositivo AC se ubica en el isocentro del Linac, para lo cual se verifica la coincidencia de la proyección del campo de luz con el retículo y las líneas longitudinal y coronal del AC, utilizando un campo de  $20 \times 20 \text{ cm}^2$  con gantry en  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  y  $270^\circ$ . Las mediciones se realizaron en los dos modos de operación: el primero, denominado *modo normal* (N), se basa en el posicionamiento y toma de una sola medición, y el segundo, *modo alta densidad* (AD), que consiste en combinar las mediciones en modo N y repetir las medidas, repositonando el AC  $\pm 5 \text{ mm}$  y con una rotación de  $2,72^\circ$ .

Con el aumento de los puntos usados en la medición se logra aumentar la resolución espacial, y se reduce a la mitad el espacio entre detectores (0,5 mm). Para la comparación de los planes calculados por el TPS y las medidas con AC y PRC se usó el *software SNC Patient™* en su versión 8.3.

La comparación 2D y 3D se adelantó a partir de los criterios de análisis gamma con diferencia de dosis (%)/distancia al acuerdo (mm): 5%/2 mm, 5%/1 mm y se compararon los modos de medición N y AD con los criterios: 3%/3 mm, 3%/2 mm y 2%/2 mm. La comparación gamma se realizó con una normalización respecto a la dosis máxima dentro de la región evaluada, con un umbral (de aquí en adelante TH) de 10%.

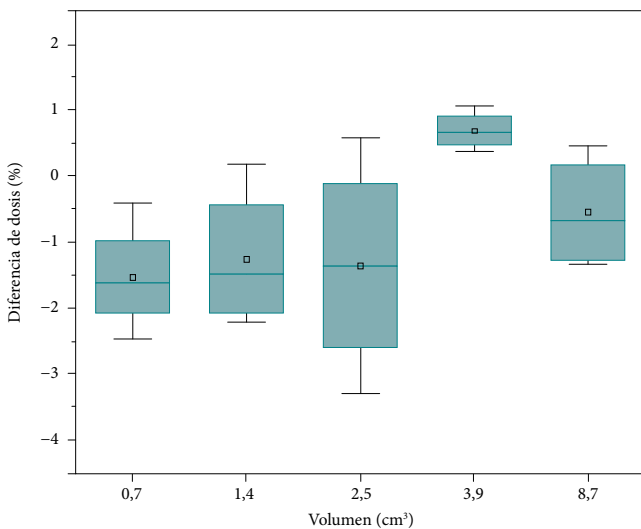
### 3. Resultados

#### 3.1 Dosis a punto

La comparación entre la dosis medida y el cálculo en el TPS se analizó mediante un gráfico de caja y bigotes, como se muestra en la figura 2. La dosis media (línea horizontal en el cajón) para los volúmenes 0,7 cm<sup>3</sup>; 1,4 cm<sup>3</sup>; 2,5 cm<sup>3</sup>; 3,9 cm<sup>3</sup> y 8,7 cm<sup>3</sup> fue respectivamente -1,5%; -1,3%; -1,4%; 0,7% y -0,6%; el valor negativo representa una medida de dosis mayor que la reportada al TPS según la ecuación (1). En función del volumen, la variabilidad entre múltiples mediciones de dosis se determinó como el rango intercuartílico (RIC), donde el volumen de 2,5 cm<sup>3</sup> mostró la mayor variabilidad con un 3,1% y el volumen de 3,9 cm<sup>3</sup> la menor (0,5%). El mayor RIC se encontró para los volúmenes de 0,7 cm<sup>3</sup>; 1,4 cm<sup>3</sup>; 2,5 cm<sup>3</sup>, que corresponden a los volúmenes más pequeños aquí estudiados. Los bigotes indican el dato más bajo y el más alto dentro 1,5 del RIC, donde para todos los casos la diferencia puntual se encontró dentro del rango  $\pm 3,5\%$ .

#### 3.2 Análisis gamma-3D para ArcCHECK

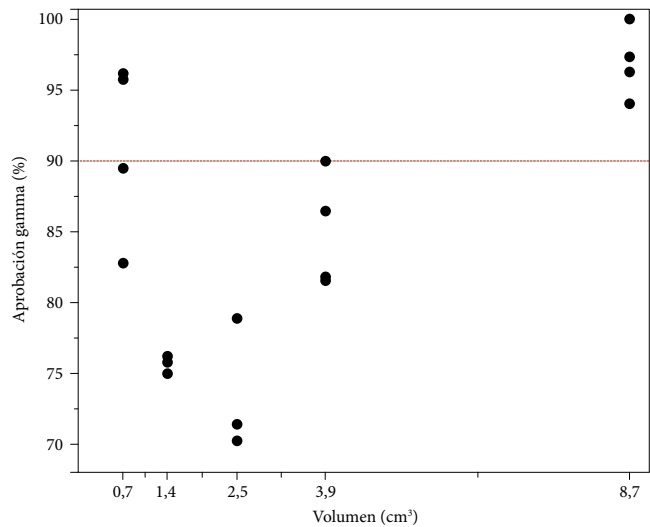
Los resultados porcentaje de coincidencia gamma obtenidos con AC en modo normal son presentados en la figura 3. Al recurrir al criterio de evaluación 5%/2 mm y un rango de aprobación arriba del 90% (línea magenta), se obtuvieron porcentajes comprendidos entre 70-100%; los resultados para el volumen de 8,7 cm<sup>3</sup> están entre 94,1-100%. Los



**Figura 2.** Diferencia de dosis porcentual en relación al volumen, en cada caso hay 4 planeaciones de tratamiento mediante la técnica VMAT

resultados muestran que el dispositivo AC parece no ser adecuado para medir la distribución de dosis en volúmenes en el orden de 8 cm<sup>3</sup> o inferiores.

Un aspecto importante en el PSQA con AC es la correcta ubicación. Diferencias pequeñas (menores a 1 mm) en el posicionamiento del dispositivo entre múltiples mediciones pueden dar como resultados diferencias significativas del porcentaje de aprobación gamma en estos volúmenes pequeños. La tabla 1 muestra los resultados del análisis gamma-3D de cinco planes repetidos en dos días diferentes donde se observa que no son reproducibles; se pueden presentar situaciones en las cuales los resultados se mantienen, mejoran o se ven reducidos. También se evaluó la dependencia de la reproducibilidad con respecto al criterio de evaluación, repitiendo el análisis gamma usando el criterio 5%/1 mm y TH = 50%, encontrando que se mantiene el mismo comportamiento.



**Figura 3.** Porcentajes de aprobación gamma-3D con el dispositivo ArcCHECK en modo N al utilizar el criterio 5%/2 mm y TH = 50%

**Tabla 1.** Porcentaje de aprobación gamma-3D con el dispositivo ArcCHECK en modo N, utilizando los criterios 5%/2 mm y 5%/1 mm con TH = 50% para dos días diferentes de una misma medida al volumen

Volumen (cm <sup>3</sup> )	$\gamma$ (5%/2 mm)		$\gamma$ (5%/1 mm)	
	Día 1	Día 2	Día 1	Día 2
0,7	82,8	84,2	48,3	31,6
1,4	75,9	61,3	62,1	59,4
2,5	84,8	80,6	61,3	67,7
3,9	90,0	90,0	80,0	80,0
8,7	68,8	92,6	53,1	92,6



### 3.3 Mediciones en modo alta densidad (AD)

La figura 4 muestra el entorno del *software SNC Patient* para la evaluación gamma cuando se usa el dispositivo AC en modo AD. El *software* permite visualizar la distribución de la dosis medida y la obtenida por el TPS (figuras 4a y 4b), donde hay un aumento en la resolución espacial de los puntos de medición que es característico del modo alta densidad. En el caso que se presenta, el criterio de evaluación fue de 3%/3mm con TH=50%, obteniendo puntos calientes y fríos (figuras 4c y 4d).

La tabla 2 presenta los resultados para el modo AD. Al trabajar los criterios 5%/2 mm y 5%/1 mm en AD, la coincidencia es menor; en volúmenes menores a 10 cm<sup>3</sup> el porcentaje de aprobación correcto es el del modo AD, debido a la mejora en la resolución espacial en la medida. Aquí se

observan porcentajes de aprobación superiores al 95 % únicamente en el criterio de evaluación 3%/3 mm bajo la limitación del umbral del 50. Esto significa que ArcCHECK no debe ser usado como sistema dosimétrico en procedimientos de PSQA de tratamientos en radiocirugía, debido a que no satisface el porcentaje de aprobación bajo los criterios 5%/2 mm y 5%/1 mm, pero sí es posible utilizarlo como sistema PSQA en tratamientos de intensidad modulada cuyos volúmenes blancos estén en el rango de 0,7-8,7 cm<sup>3</sup>, donde se pueda aceptar un umbral del 50 % con el criterio 3%/3 mm.

### 3.4 Análisis gamma-2D para EBT-3

Se analizaron un total de 20 PRC, con un tiempo entre la irradiación y análisis de 168 horas (tiempo necesario para

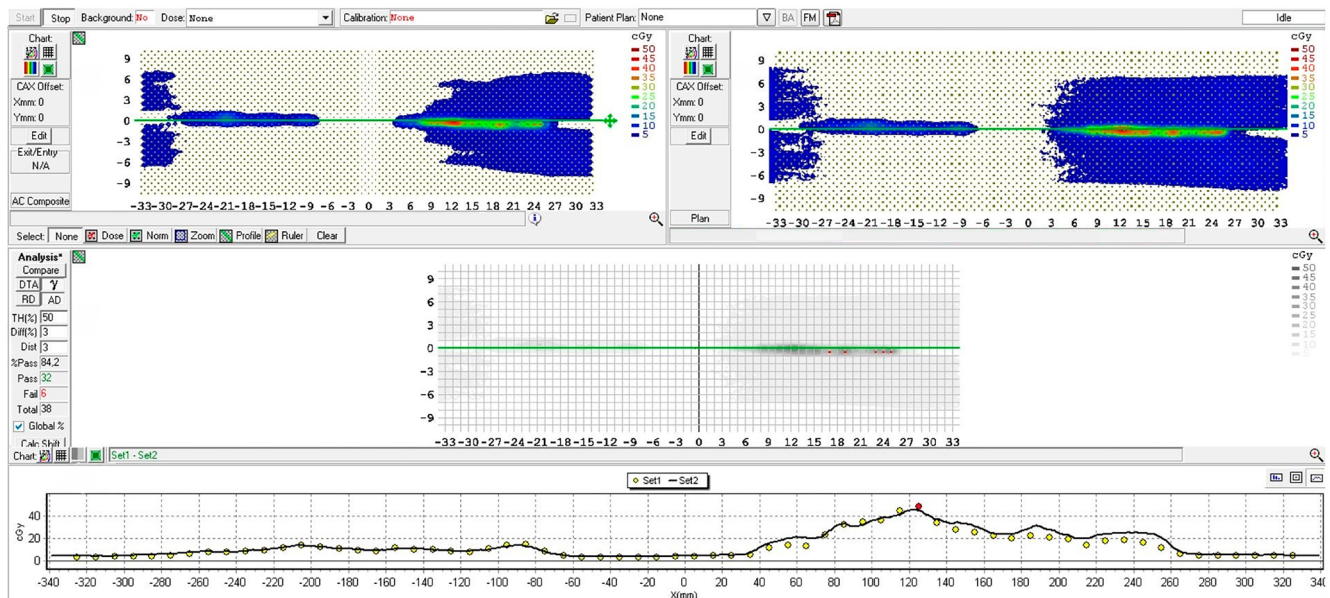


Figura 4. Entorno de visualización del software SNC Patient

a) Distribución de dosis medida con el dispositivo ArcCHECK; b) Distribución obtenida por el TPS Monaco; c) Izquierda: panel de evaluación gamma; derecha: comparación de zonas frías y calientes (puntos de color azul y rojo, respectivamente); d) Perfil de dosis calculado por el TPS (línea de color negro) y distribución de puntos evaluados que cumplen con el criterio gamma (color amarillo) y los que presentan un fallo (color rojo).

Tabla 2. Porcentaje de coincidencia gamma-3D en modo normal (N) y alta densidad (AD) para los criterios 5%/2 mm, 5%/1 mm, 3%/3 mm, 3%/2 mm y 2%/2 mm en función del tamaño del volumen blanco al utilizar un TH = 50 %

Volumen (cm <sup>3</sup> )	γ (5%/2 mm)		γ (5%/1 mm)		γ (3%/3 mm)		γ (3%/2 mm)		γ (2%/2 mm)	
	N	AD	N	AD	N	AD	N	AD	N	AD
0,7	84,2	73,5	31,8	36,8	93,4	90,4	87,7	83,6	70,7	67
1,4	61,3	58,5	59,4	56,4	92,6	96,1	84,6	85,7	70	69,7
2,5	80,6	81,1	67,7	67,9	98,2	97	92,9	90,8	85,5	74,9
3,9	90	90,6	80	78,1	97,3	96,9	91,1	87,1	80,8	80,4
8,7	92,6	87,6	92,6	77,2	98,1	98,5	95,7	91,7	94,4	89

que se alcance el máximo de saturación de la densidad óptica [22], [23]). Las figuras 5a y 5b presentan, respectivamente, el resultado de la distribución de dosis medida con el dispositivo PRC-escáner y calculada por el TPS en un corte coronal. La coincidencia gamma-2D para un plan de tratamiento de volumen 0,7 cm<sup>3</sup> fue de 100 % al utilizar el criterio de 5 %/2 mm con TH=50 % (ver figuras 5d y 5e), donde se observa el perfil de la PRC (en magenta), coincidiendo con el cálculo del TPS hasta la extensión de la película.

El perfil de dosis que se obtuvo no es homogéneo, se tiene un perfil de dosis característico de los campos pequeños [24], [25], [26]. Los resultados del PSQA con el sistema PRC-escáner se muestran en la figura 6 con criterio de evaluación 5%/2 mm, y en la tabla 3 junto al criterio 5%/1 mm.

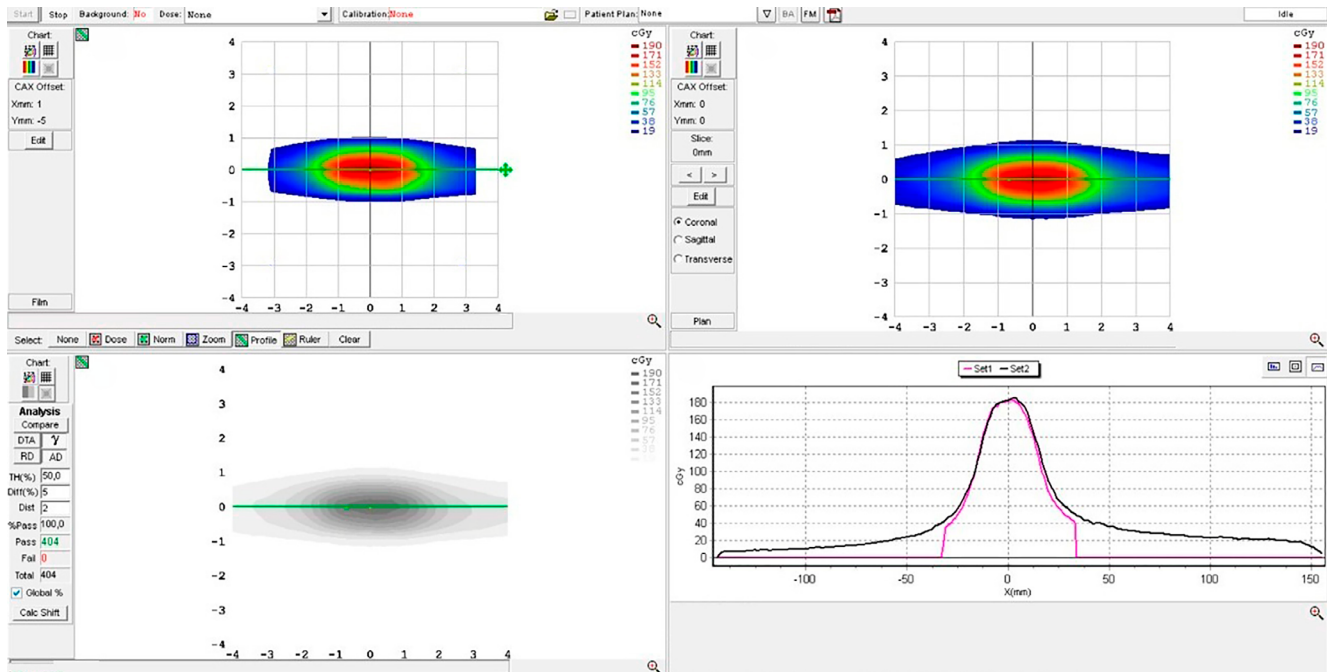
Se observa que el porcentaje de aprobación está arriba del 90 % al utilizar el criterio 5 %/2 mm con TH=50 %, y si se propone un criterio 5 %/1 mm con TH=50 % el porcentaje de aprobación está por encima del 85 %, lo cual es adecuado para evaluar procedimientos de PSQA de radiocirugía de dosis única donde se debe garantizar exactitud submilimétrica en la entrega de la dosis.

**4. Discusión**

Se evaluó la viabilidad de los sistemas dosimétricos cámara de ionización-electrómetro, ArcCheck (AC) y película radiocrómica (PRC)-escáner en el control de calidad paciente específico en volúmenes de tratamiento entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup>.

**Tabla 3.** Porcentaje de coincidencia gamma-2D para los criterios 5 %/2 mm y 5 %/1 mm con TH = 50 % en función del tamaño del volumen blanco en relación con los resultados de la tabla 2

Volumen (cm <sup>3</sup> )		γ(5 %/2 mm)				γ(5 %/1 mm)			
0,7	98,0	100,0	98,8	91,7	97,2	94,8	97,8	89,8	
1,4	98,4	95,1	93,5	97,4	90,1	89,1	83,8	76,7	
2,5	96,7	97,7	92,5	92,5	88,2	92,0	92,0	96,3	
3,9	97,4	98,6	93,2	97,1	85,6	94,1	93,1	95,7	
8,7	98,8	97,3	94,6	97,0	97,5	96,9	94,3	75,9	



**Figura 5.** Entorno de visualización del software SNC Patient para un volumen de 0.7 cm<sup>3</sup>  
 a) Distribución de dosis medida con el dispositivo PRC-escáner; b) Distribución de dosis obtenida por el TPS Monaco en un corte coronal; c) Izquierda: panel de evaluación gamma criterio 5 %/2 mm con TH = 50 %; derecha: comparación de zonas frías y calientes (0 puntos de fallos); y d) Perfil de dosis calculado por el TPS (línea de color negro) y la obtenida experimentalmente (magenta).

El sistema dosimétrico cámara de ionización-electrómetro, aunque no proporciona información de la distribución de la dosis en el procedimiento PSQA, es un dispositivo confiable de información unidimensional para evaluar la exactitud de tratamientos de volúmenes blanco entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup>, debido a que el volumen de la cámara de ionización tipo *pinpoint* es de 0,016 cm<sup>3</sup>.

En trabajos previos, Ramachandran *et al.* [9] evaluaron la confiabilidad del dispositivo ArcCHECK y de la película radiocrómica, trabajando criterios de evaluación 3%/3 mm, 3%/2 mm, 3%/1 mm y 2%/2 mm, para casos de radiocirugía, encontrando que el sistema PRC-escáner era el dispositivo que daba mayor exactitud, independientemente del criterio de evaluación. En el caso del dispositivo AC, sus resultados mostraron una coincidencia con los porcentajes de aprobación gamma 2D de la PRC al utilizar el criterio 3%/3 mm con TH = 10%.

Keogh *et al.* [13] reportaron el resultado de evaluar el comportamiento del ArcCHECK en modo alta densidad para volúmenes de tratamiento ≤ 40 cm<sup>3</sup>, en su trabajo utilizaron los criterios de evaluación gamma: 3%/2 mm y 2%/2 mm en donde se reporta que para los volúmenes mayores a 7 cm<sup>3</sup> no hay diferencias significativas con respecto al modo normal.

Hemos encontrado que el modo normal de operación del AC no presenta diferencias significativas en los porcentajes de aprobación cuando se utiliza el criterio 3%/3 mm con TH = 50%, lo cual permite ser utilizado para PSQA y esto concuerda con los resultados reportados por Montes *et al.* [14], la diferencia encontrada al comparar el modo normal y alta densidad con el criterio 3%/3 mm de la tabla 2 fue del 5%, el cual coincide con [14] y es igual para volumen mayor a 7 cm<sup>3</sup> como lo reporta Keogh *et al.* [13].

A partir de los resultados de las múltiples mediciones realizadas con el dispositivo ArcCHECK, se evidenció una baja reproducibilidad del posicionamiento del dispositivo para analizar la función gamma en volúmenes entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup> al utilizar criterios con DTA menores a 3 mm, por lo cual constatamos que no es un dispositivo adecuado para las modalidades de tratamiento de radiocirugía; sin embargo, es posible utilizarlo en técnicas de intensidad modulada bajo el criterio 3%/3 mm con TH = 50%.

El dispositivo PRC-escáner es confiable para la evaluación de volúmenes blanco entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup> al utilizar la función gamma-2D, pero se pierde información tridimen-

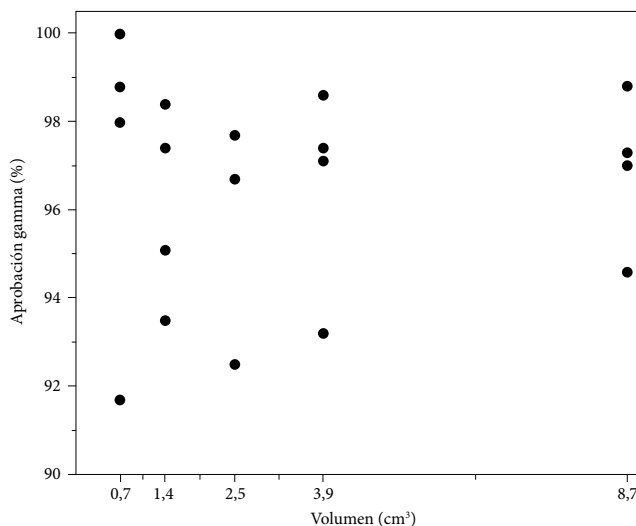


Figura 6. Porcentaje de coincidencia gamma-2D con PRC en función del volumen para 20 planes de tratamiento de VMAT utilizando el criterio 5%/2 mm con TH = 50%

sional del volumen blanco evaluado. Este sistema requiere de experticia en la manipulación de la PRC y de un control de tiempos entre la calibración y el procedimiento PSQA, para no afectar el análisis posterior a su digitalización, otro de estos cuidados es establecer la región de interés evitando los 4 puntos de coincidencia y las coordenadas (X, Y) de la PRC para que en la comparación dosimétrica estas marcas no sean consideradas. La alineación de la distribución de la dosis medida con la del TPS se realiza de forma manual realizando desplazamiento en X y Y evaluando la coincidencia en los perfiles de dosis de forma horizontal, vertical y diagonal. Para llevar al dispositivo PRC-escáner a ser un sistema de PSQA, se requiere una calibración en un tiempo corto donde la PRC no alcanza la saturación de la densidad óptica, como se sugiere en [27], [28].

Al comparar los resultados entre el AC (figura 3) y el sistema PRC EBT-3 (figura 6) para el criterio de evaluación 5%/2 mm, se tiene que la película radiocrómica presenta mayor exactitud independiente del volumen de tratamiento, resultados que no son adecuados para el AC debido a su baja resolución espacial.

### 5. Conclusiones

Un factor importante en el control de calidad paciente específico consiste en elegir el equipo y los métodos de medición



adecuados para la modalidad de tratamiento que requiera el paciente. Encontramos que la determinación de dosis a punto con el sistema dosimétrico cámara de ionización *pinpoint*-electrómetro es un procedimiento confiable en volúmenes mayores de 0,7 cm<sup>3</sup>; sin embargo, tiene la desventaja de no aportar información acerca de la distribución de la dosis. El dispositivo ArcCHECK es un sistema de verificación de dosis adecuado para las mediciones dosimétricas en volúmenes entre 0,7-8,7 cm<sup>3</sup> cuando es utilizando en modo alta densidad, bajo los criterios de evaluación para la función gamma-3D de 3%/3 mm con TH=50%. Debido a su alta resolución espacial, el sistema dosimétrico de película radiocrómica-escáner demostró ser confiable para evaluar la exactitud en la administración de tratamientos de radiocirugía incluso con criterios de bajo DTA como 5%/2 mm y 5%/1 mm cuando TH=50%, en volúmenes de tratamiento mayores a 0,7 cm<sup>3</sup>.

El sistema dosimétrico PRC-escáner, además de ser el más exacto y de brindar mayor información para el análisis dosimétrico de paciente específico en tratamientos de radiocirugía, fue implementado en sitio a bajo costo, al utilizar 2 láminas de poliestireno, unas dimensiones de 6,7 cm × 6,4 cm de película radiocrómica y un escáner horizontal como el EPSON 10000XL, y su análisis al emplear una herramienta del *software SNC Patient* específico del dispositivo Arc-Check.

### Agradecimientos

Agradecemos al Centro de Oncología Javeriana (CJO) del Hospital Universitario San Ignacio, por facilitarnos sus instalaciones y equipos para realizar el presente estudio. Agradecemos al grupo de Física Médica del CJO por las discusiones académicas entorno al proceso del control de calidad de paciente específico.

### Referencias

- [1] M. Miften, A. Olch, D. Mihailidis *et al.*, "Tolerance limits and methodologies for IMRT measurement-based verification QA: Recommendations of AAPM Task Group n.º 218", *Medical Physics Journal*, vol. 45, n.º 4, abr., pp. e53-e83, 2018. <https://doi.org/10.1002/mp.12810>
- [2] M. Alber, S. Broggi, C. De Wagter *et al.*, *Guidelines for the verification of IMRT. ESTRO Booklet N.º 9. Brussels*, Bélgica: ESTRO, 2008.
- [3] *Aspectos físicos de la garantía de calidad en radioterapia: Protocolo de control de calidad*, International Atomic Energy Agency, IAEA TECDOC N.º 1151, Spanish IAEA-TECDOC-1151, 2000.
- [4] E. Van der Wal *et al.*, *NCS Report 22: Practice for the Quality Assurance and Control for Intensity Modulated Radiotherapy*. Delft, NL: NCS, 2013.
- [5] A. Mans *et al.*, *NCS Report 24: The NSC code of practice for the quality assurance and control for volumetric modulated arc therapy*. Delft, NL: NCS, 2015.
- [6] T. Kataria *et al.*, "Dosimetric comparison between Volumetric Modulated Arc Therapy (VMAT) vs. Intensity Modulated Radiation Therapy (IMRT) for radiotherapy of mid esophageal carcinoma", *Journal of Cancer Research and Therapeutics*, vol. 10, n.º 4, pp. 871-877, 2014. <https://doi.org/10.4103/0973-1482.138217>
- [7] L. Yin, H. B. Govardhan, D. Gupta *et al.*, "Volumetric-modulated arc therapy vs c-IMRT in esophageal cancer: A treatment planning comparison", *World Journal of Gastroenterology*, vol. 18, n.º 37, pp. 5266-5275, 2012. <https://doi.org/10.3748/wjg.v18.i37.5266>
- [8] D. Pokhrel, M. Halfman y L. Sanford, "A simple, yet novel hybrid-dynamic conformal arc therapy planning via flattening filter-free beam for lung stereotactic body radiotherapy", *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, vol. 21, n.º 6, pp. 83-92, 2020. <https://doi.org/10.1002/acm2.12868>
- [9] P. Ramachandran, A. Tajaldeen, D. Taylor *et al.*, "Evaluation and performance of ArcCheck and film using gamma criteria in pre-treatment quality assurance of stereotactic ablative radiotherapy", *Journal of Medical Physics*, vol. 42, n.º 4, pp. 251-257, 2017. [https://doi.org/10.4103/jmp.JMP\\_132\\_16](https://doi.org/10.4103/jmp.JMP_132_16)
- [10] A. Sola, "Radioterapia de intensidad modulada (IMRT)", *Revista Médica Clínica Las Condes*, vol. 22, n.º 6, pp. 384-843, 2011. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(11\)70496-5](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(11)70496-5)
- [11] M. Aristophanous, Y. Suh, P. C. Chii *et al.*, "Initial clinical experience with ArcCHECK for IMRT/VMAT QA", *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, vol. 17, n.º 5, pp. 20-33, 2016. <https://doi.org/10.1120/jacmp.v17i5.6118>
- [12] L. Yu, T. L. S. Tang, N. Cassim *et al.* "Analysis of dose comparison techniques for patient-specific quality assurance

- in radiation therapy”, *Journal of Applied Clinical Medical Physics*, vol. 20, n.º 11, pp. 189-198, 2019. <https://doi.org/10.1002/acm2.12726>
- [13] S. Keogh, S. O’keeffe, P. McBride *et al.*, “EP-23607: SABR patient-specific QA measurement strategy. Stereotactic ablative radiotherapy”, en *Stereotactic Ablative Radiotherapy 2015* [Internet]. 2015. Disponible en: <https://www.eposters.net/poster/sabr-patient-specific-qa-measurement-strategy>
- [14] E. Montes, I. Modolell, R. de Blas *et al.*, “EP-1383: Experimental evaluation of high density ArcCHECK mode for SBRT verification”, *Radiotherapy & Oncology*, vol. 115, sup. 1, pp. S746-S747, 2015. [https://doi.org/10.1016/S0167-8140\(15\)41375-1](https://doi.org/10.1016/S0167-8140(15)41375-1)
- [15] T. Santos, T. Ventura y M. Lopes, “A review on radiochromic film dosimetry for dose verification in high energy photon beams”, *Radiation Physics and Chemistry*, vol. 179, pp. 109-217, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109217>
- [16] S. Devic, J. Seuntjens, G. Hegyi *et al.*, “Dosimetric properties of improved GafChromic films for seven different digitizers”, *The International Journal of Medical Physics Research and Practice*, vol. 31, n.º 9, pp. 2392-2401, 2004. <https://doi.org/10.1118/1.1776691>
- [17] N. Nalbant, D. Kesen y B. Hatice, “Pre-treatment dose verification of IMRT using gafchromic Ebt3 film and 2D-Array”, *Journal of Nuclear Medicine & Radiation Therapy*, vol. 5, n.º 3, pp. 1-6, 2014. <https://doi.org/10.4172/2155-9619.1000182>
- [18] M. Hussein, P. Rowshanfarzad, M. Ebert *et al.*, “A comparison of the gamma index analysis in various commercial IMRT/VMAT QA systems”, *Radiotherapy and Oncology*, vol. 109, n.º 3, pp. 370-376, 2013. <https://doi.org/10.1016/j.radonc.2013.08.048>
- [19] A. Niroomand-Rad, S.-T. Chiu-Tsao, M.P. Grams *et al.* “Radiochromic Film Dosimetry. American Association of Physicists in Medicine (AAPM) Report 55”, *The International Journal of Medical Physics Research and Practice*, vol. 47, n.º 12, pp. 5986-6025, 2020. <https://doi.org/10.1002/mp.14497>
- [20] *ArcCHECK Reference Guide*, 3a. ed., Sun Nuclear Corporation, Melbourne, FL, EE. UU., 2013, pp. 15-34.
- [21] *Technical Reports Series N.º 398: Absorbed dose determination in external beam radiotherapy*, International Atomic Energy Agency, Viena: IAEA, 2000.
- [22] R. Arráns, H. Miras, M. Ortiz *et al.*, “Dosimetría con películas radiocrómicas”, *Revista de Física Médica*, vol. 10, n.º 2, jul., pp. 82-104, 2009.
- [23] L. Ramos y J. Pérez, “Improving the calibration of radiochromic films by the use of uncertainties in optical density and dose”, *The International Journal of Medical Physics Research and Practice*, vol. 53, n.º 7, pp. 071726-071727, 2013. <https://doi.org/10.1118/1.4811238>
- [24] “Report 91. Prescribing, recording, and reporting of stereotactic treatment with small photo beams”, *Journal of the International Commission on Radiation Units and Measurements*, vol. 14, n.º 2, pp. 1-160, 2017. <https://doi.org/10.1093/jicru/ndx017>
- [25] “Dosimetry of small static fields used in external beam radiotherapy”, International Atomic Energy Agency, Viena, Technical Reports Series n.º 483, 2017.
- [26] I. J. Das, G. Ding y A. Ahnesjö, “Small fields: nonequilibrium radiation dosimetry”, *The International Journal of Medical Physics Research and Practice*, vol 35, n.º 1, pp. 206-215, 2008. <https://doi.org/10.1118/1.2815356>
- [27] J. Son, T. Baek, B. Lee *et al.*, “A comparison of the quality assurance of four dosimetric tools for intensity modulated radiation therapy”, *Radiology and Oncology*, vol. 49, n.º 3, pp. 307-313, 2015. <https://doi.org/10.1515/raon-2015-0021>
- [28] D. Lewis, A. Micke, Y. Xiang *et al.*, “An efficient protocol for radiochromic film dosimetry combining calibration and measurement in a single scan”, *The international Journal of Medical Physics Research and Practice*, vol. 39, n.º 10, pp. 6339-6350, 2012. <https://doi.org/10.1118/1.4754797>