

Unidad Académica de Estudios Nucleares de la Universidad Autónoma de Zacatecas, Zacatecas, Zac., México

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: fermineutron@yahoo.com

**Introducción:** El uso de aceleradores lineales (LINACs) de alta energía para el tratamiento de cáncer ofrece muchas ventajas en comparación a los LINACs de baja energía. Sin embargo, cuando un LINAC opera con voltajes superiores a los 8 MV, junto con el haz de fotones se producen fotoneutrones mediante reacciones (n). Estos neutrones depositan una dosis indeseable en el cuerpo del paciente, inducen reacciones nucleares en los materiales dentro de la sala de tratamiento que generan partículas secundarias que afectan al paciente y al personal que labora en torno a la instalación<sup>1</sup>. Estos fotoneutrones pueden usarse para inducir la activación de muestras con fines analíticos, pero el espectro de los neutrones necesita modificarse. El objetivo de este trabajo fue diseñar un moderador que permite usar los fotoneutrones de un LINAC para inducir reacciones de activación con fines analíticos.

**Materiales y métodos:** Un cilindro regular de polietileno, cuyo diámetro es igual a su altura, se usó como medio moderador; para determinar las dimensiones del cilindro más adecuado usamos como figura de mérito, FOM, el cociente del flujo de neutrones térmicos y el flujo de neutrones epitérmicos y rápidos de los neutrones que alcanzan el centro del cilindro. Para esto se usó el código MCNP5<sup>2</sup> donde se modelaron cilindros de 12.7, 15.24, 17.78, 20.32, 22.86 y 25.4 cm de diámetro y altura que se expusieron al espectro de los fotoneutrones de un LINAC de 15 MV, y se calculó el espectro de los neutrones en el centro del cilindro. Se construyó el moderador para activar muestras sólidas y líquidas. Para evaluar el moderador se prepararon muestras líquidas de  $MnSO_4$  con 0.5, 0.75 y 1 gr de Mn. Para evaluar la energía de los neutrones que inducen la activación una muestra de 1 g de Mn se irradió con una cubierta de Cd. También se irradiaron monedas mexicanas con masas diferentes de plata. Para evaluar la activación inducida, se usó un espectrómetro para rayos con un detector de 3"×3" de NaI(Tl). **Resultados:** En la figura 1 se muestra la FOM en función del tamaño del cilindro, a partir de estos resultados se construyó el moderador como un cilindro de 20.32 Ø× 20.32 cm<sup>2</sup>, que se usó para activar las muestras mientras el LINAC aplicaba 12 Gy<sub>x</sub> sobre un maniquí de agua sólida.

De las muestras irradiadas se observó una relación lineal entre la cantidad de Mn y el área bajo el fotopico de 846.8 keV del <sup>56</sup>Mn y se encontró que la activación se indujo por los neutrones térmicos, cuyo flujo fue de  $9.95E(5) \pm 3.6\%$  cm<sup>-2</sup>·Gy<sub>x</sub><sup>-1</sup>. También, se observó una relación lineal entre la cantidad de Ag en las monedas y el área bajo el fotopico de 657.6 keV que corresponde a <sup>108</sup>Ag y <sup>110</sup>Ag. Debido a que el LINAC opera en tiempos cortos el moderador permite activar muestras de vida media corta.

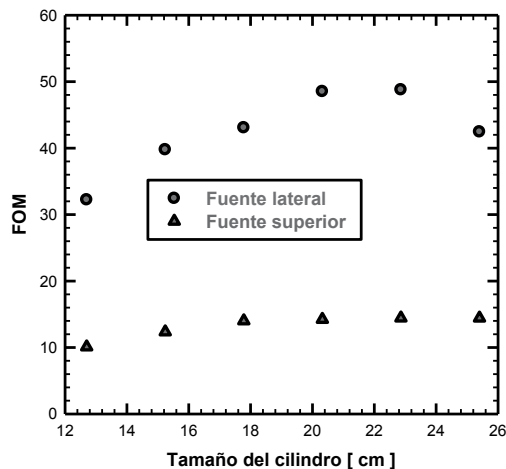
**Conclusiones:** Se diseñó un moderador que permite usar los fotoneutrones de un LINAC para inducir la activación de muestras. El flujo de neutrones térmicos que induce la activación es de  $9.95E(5)$  neutrones por Gy.

## Bibliografía

1. Barquero R, Mendez R, Vega-Carrillo HR, et al. Neutron spectra and dosimetric features around an 18 MV linac accelerator. Health Phys 2005;88:48-58.

2. Forster RA. MCNP<sup>TM</sup> Version 5. Nucl Instrum Methods Phys Res B 2004;213:82-86.

Figura 1 FOM para los cilindros de polietileno.



## Resúmenes de carteles

### Abstracts of poster presentations

#### 01C: Medición de la sensibilidad óptica de las películas GAFCHROMIC EBT2 obtenidas con diferentes sistemas ópticos

Y. León-Marroquín<sup>a,b,\*</sup>, O. A. García-Garduño<sup>a</sup> y M. Camacho-López<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Física Médica & Unidad de Radioneurocirugía, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, México

<sup>b</sup>Laboratorio de Fotomedicina, Biofotónica y Espectroscopia Láser de Pulsos Ultracortos, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Méx., México

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: yaz\_3333@hotmail.com

**Introducción:** Con el advenimiento de nuevas técnicas de tratamiento en radiocirugía, las cuales, para su comisionamiento y caracterización necesitan de detectores de alta resolución espacial, las películas radiocrómicas (PR) han tomado ventaja en cuanto a dosimetría para campos no convencionales<sup>1</sup>. Para su análisis, este tipo de detectores necesitan de algún sistema óptico (SO) que típicamente en la clínica es un escáner comercial en modo de transmisión<sup>2</sup>. Sin embargo, existen otros SO como los láseres y los espectrofotómetros<sup>3</sup>, que también pueden ser empleados para la caracterización de las PR, obteniendo una mayor sensibilidad en la respuesta (densidad óptica, DO).

El objetivo de este trabajo es caracterizar las PR EBT2 utilizando 3 SO: escáner, espectrofotómetro y láser.

**Materiales y métodos:** Se utilizaron muestras de PR EBT2 de tamaño 3 x 3 cm<sup>2</sup>. Las muestras se irradiaron con un acelerador lineal Novalis® BrainLAB de energía nominal de 6 MV en modo de fotones, cubriendo un intervalo de dosis de 0 a 10 Gy. Las películas fueron leídas 72 horas después de la irradiación utilizando un escáner EPSON Perfection V750, un

espectrofotómetro PerkinElmer UV/VIS de doble haz y un láser He-Ne de emisión continua (CW), centrado en 633 nm. **Resultados:** Las curvas de calibración de las PR EBT2 presentan diferente sensibilidad dependiendo del SO utilizado para su análisis. Esta variación en la sensibilidad se debe a que la respuesta de la película (DO neta) depende de la longitud de onda a la cual fueron medidos. Esto implica que, al utilizar una fuente de luz con un ancho de banda, como el escáner, la saturación ocurra más rápido que cuando se utiliza una fuente de luz con una sola longitud de onda, como es el caso del láser y el espectrofotómetro.

Para el intervalo de dosis estudiado, se encontró que, si la película es analizada con el láser, la sensibilidad de la respuesta aumenta un 73% si la comparamos con la respuesta de la película analizada con el escáner. Por otra parte, el espectrofotómetro presenta un 10.5% más sensibilidad en la respuesta que el láser, esto es porque el láser utiliza su línea de emisión a 633 nm, mientras que el espectrofotómetro nos da la DO neta en el pico de absorción (636 nm).

Además, para los 3 SO, la incertidumbre experimental ( $\sigma_{exp}$ ) resultó menor que la incertidumbre del ajuste ( $\sigma_{ajuste}$ ). Sin embargo, el escáner presenta menor  $\sigma_{ajuste}$ , mientras que la  $\sigma_{exp}$ , resultó menor para el espectrofotómetro y el láser.

**Conclusiones:** Los resultados muestran que es posible utilizar el láser y el espectrofotómetro como SO alternativos para caracterizar las PR EBT2, obteniendo un aumento en la sensibilidad de la respuesta, ya que este factor influye en la incertidumbre total en la determinación de la dosis.

## Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía por apoyarnos para el desarrollo de este trabajo, así como el apoyo del proyecto CONACYT-SALUD-2012-01-181822.

## Bibliografía

1. Mack A, Mack G, Weltz D, et al. High precision film dosimetry with GAFCHROMIC® films for quality assurance especially when using small fields. *Med Phys* 2003;30:2399-2408.
2. Paelinck L, De Neve W, De Wagter C. Precautions and strategies in using a commercial flatbed scanner for radiochromic film dosimetry. *Phys Med Biol* 2007;52:231-242.
3. Skoog DA, James Holler F, Crouch SR. Principles of instrumental analysis. 5th ed. New York: Saunders College Publishing; 2008.

## 02C: Medición de la sensibilidad óptica de las películas GAFCHROMIC EBT2 en un rango dinámico de 10 a 50 Gy

M. G. Enríquez-Cuazitl<sup>a,\*</sup>, E. Y. León-Marroquín<sup>a</sup>, O. A. García-Garduño<sup>b</sup> y M. A. Camacho-López<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Laboratorio de Fotomedicina, Biofotónica y Espectroscopia Láser de Pulsos Ultracortos, Facultad de Medicina, Universidad Autónoma del Estado de México, Toluca, Méx., México

<sup>b</sup>Laboratorio de Física Médica, Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía, Méx., México

\* Autor para correspondencia:

Correo electrónico: liebe\_gaby@hotmail.com

**Introducción:** Las películas radiocrómicas (PR) han sido ampliamente usadas en aplicaciones clínicas, principalmente en radioterapia, ya que poseen ciertas características que las hacen viables para su uso práctico<sup>1</sup>. La relación entre dosis absorbida y la respuesta de la película a distintos niveles de irradiación conforman la curva de calibración o curva de respuesta. La respuesta de las PR a la dosis de irradiación es caracterizada por el cambio en su densidad óptica. Para su análisis pueden emplearse diferentes sistemas de ópticos (SO) de lectura como: escáner, láser o espectrofotómetro; cada uno de ellos presenta diferente sensibilidad dependiendo de la longitud de onda empleado en el análisis de la película<sup>2</sup>.

El espectro de absorción de la PR muestra que dependiendo del rango de dosis empleado, las películas presentan diferente sensibilidad. Las películas irradiadas en el rango de dosis de 0-10 Gy son más sensibles a la luz roja (636 nm), mientras que las películas irradiadas en el rango de dosis de 11-50 Gy son más sensibles a la luz verde (585 nm)<sup>3</sup>. En este trabajo se propone utilizar como sistema de lectura láser de 548 nm (verde) para determinar la curva de respuesta de la PR en un rango de dosis de 11 a 50 Gy obteniendo mayor precisión en el cálculo de la dosis absorbida y, de este modo, mejorar la dosimetría que se logra usando un escáner para el rango dinámico utilizado en la práctica clínica.

**Materiales y métodos:** Las PR EBT2 se irradiaron con un acelerador lineal modelo Novalis con una energía nominal de 6 MV propiedad de la Unidad de Radiocirugía del Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía. El rango dinámico fue de 11-50 Gy. Las películas se analizaron con 3 SO: un escáner Epson Perfection V750, un espectrofotómetro Perkin Elmer marca Lambda 650 UV/VIS y un láser verde de HeNe centrado en 548 nm.

**Resultados:** Se obtuvieron las curvas de calibración de las PR EBT2 analizadas con 3 SO, para el rango de dosis de 11-50 Gy. Cada sistema óptico empleado muestra diferente sensibilidad, dependiente de la longitud de onda o rango de longitudes de onda que utilizados. Con el escáner se utilizó la componente verde; con el láser verde se consideró su línea de emisión centrada a 548 nm y para el espectrofotómetro se tomó la densidad óptica a 583 nm.

La densidad óptica obtenida utilizando como SO un escáner corresponde a un promedio de los valores de densidad óptica para cada longitud de onda, lo cual implica que la saturación ocurre más rápido y, por lo tanto, la sensibilidad es menor. Se observa que para el escáner, la saturación se presenta más rápidamente debido a que su ancho de banda es más amplio comparado con el ancho de banda reducido que presenta el láser y el espectrofotómetro en el rango de dosis de 11-50 Gy.

**Conclusiones:** La sensibilidad de las PR depende del SO empleado. Esta variación en la sensibilidad se debe a que la respuesta de la película depende de la longitud de onda a la cual se está midiendo.

## Agradecimientos

Agradecemos al Instituto Nacional de Neurología y Neurocirugía por apoyarnos para el desarrollo de este trabajo, así como el apoyo del proyecto CONACYT-SALUD-2012-01-181822.