

# A vueltas con la capa hemirreductora.

Víctor Delgado, Javier de Areba. Física Médica. Facultad de Medicina. Universidad Complutense

En un fiable libro «**Sponsored by the IAEA and endorsed by the COMP/CCPM, EFOMP, ESTRO, IOMP, PAHO and WHO**» se presenta la siguiente definición, en geometría de haz delgado: *The half-value layer (HVL or  $x_{1/2}$ ) is defined as that thickness of the attenuator that attenuates the photon beam intensity to 50% of its original value.* En el mismo libro, más adelante dice: *...with HVL representing the thickness of an attenuator that decreases the measured air kerma rate in air to half of its original value.*

La segunda definición es la introducida originalmente por Christen en 1912 (Utilizando exposure en vez de kerma) y recogida en el I.C.R.U. Report 10b, de 1962.

Ambas definiciones coinciden para haces monoenergéticos, pero arrojan valores distintos cuando de haces polienergéticos se trata, hecho ya señalado en 1969 por D. E. Charlton en una carta al director de Physics in Medicine and Biology.

La capa hemirreductora para kerma se puede determinar experimentalmente con relativa facilidad y se encuentran numerosísimos protocolos para la medida de esa capa hemirreductora, mientras que, si se trata de intensidad, la medida experimental de la intensidad de un haz es difícil, hacen falta métodos calorimétricos y, hasta donde los autores conocen, no hay protocolos para determinarla experimentalmente, ni hemos visto ninguna medida de esa capa hemirreductora, profundamente usada en sesudos libros.

Cuando se conoce la distribución espectral del haz es fácil calcular la curva de atenuación para el kerma y para la intensidad. Si se obtiene la distribución espectral del haz de fotones a partir de la curva de atenuación de kerma en aire medida experimentalmente (problema inverso difícil y muy inestable, equivalente a la inversión numérica de la Transformada de Laplace) puede calcularse a partir de esa distribución espectral la curva de atenuación para la intensidad y, consecuentemente, el HVL para intensidades.

La pregunta que nos hacemos es: ¿Es posible obtener de forma estable la curva de atenuación para intensidades a partir de la curva de atenuación para kerma en aire medida sin necesidad de obtener de forma inestable la distribución espectral?

# ¿Por qué esas dos definiciones?

El libro del que hablamos en la introducción es: RADIATION ONCOLOGY PHYSICS: A HANDBOOK FOR TEACHERS AND STUDENTS, del IAEA, 2005, editado por E.B. Podgorsak.

La carta *Use of the term "Half-value-layer"* de D. E. Charlton de 1968 al director de Physics in Medicine and Biology está en: PHYS. MED. BIOL., 1969, VOL. 14, NO, 2, 326-328

La capa hemirreductora para kerma ha sido históricamente la magnitud medida, por facilidad experimental, mientras que la capa hemirreductora para intensidad se utiliza porque a efectos de protección radiológica o dosimetría puede interesar la energía que queda en el haz, que será una cota para la dosis integral, y para la dosis a cuerpo entero. Podría definirse una curva de atenuación para cada detector que coloquemos.

Para haces monoenergéticos ambas curvas de atenuación son iguales, también para haces muy filtrados, situación habitual en protección radiológica. Parece pues que se debe analizar el caso de haces polienergéticos, particularmente, en el caso de los haces de rayos x de diagnóstico.

# ¿Cómo obtener la capa hemirreductora para intensidades conociendo la curva de atenuación para kerma?

En trabajos de los autores [1,2] se obtiene la fluencia de energía de un haz de rayos x de diagnóstico a partir de la curva de atenuación de kerma en haz delgado utilizando una metodología en que se usa la curva de curva de atenuación en haz delgado de un haz de rayos x, que está íntimamente relacionada con su transformada de Laplace, como una descripción funcional del haz de fotones.

Esta metodología permite obtener la fluencia de energía a partir de la curva de atenuación de forma estable, pudiendo darse una cota para el error de esa fluencia de energía dados los errores de las medidas y de los ajustes de coeficientes de transferencia energética del aire parametrizados como función del coeficiente de atenuación del absorbente, aluminio, en nuestro caso. Los detalles matemáticos aparecen en las referencias [1] y [2].

La fluencia energética del haz de fotones sería el valor para espesor de atenuador nulo de la curva de atenuación de intensidades. Vamos a ver la expresión para esta fluencia de energía y cómo puede extenderse para obtener toda la curva de atenuación para intensidades. La expresión para la fluencia de energía de un haz en función de la curva de atenuación con aluminio para kerma es [1,2]:

$$\Psi = \int_0^{\infty} K(x_m) \cdot \mathcal{L}^{-1} \left[ 1 / \mu_{m,\text{tr}}^{\text{air}}(\mu_m) \right] (x_m) \cdot dx_m ,$$

la fluencia de energía del haz,  $\psi$ , puede expresarse como la integral en espesores másicos de la curva de atenuación  $K(x_m)$  por una función de ponderación que es la transformada inversa de Laplace de la función  $(1/\mu_{m,\text{tr}}^{\text{air}})(\mu_m)$ , cuya variable independiente es el coeficiente másico de atenuación del absorbente,  $\mu_m$ .

Para describir el inverso del coeficiente másico de transferencia de energía del aire como función del coeficiente de atenuación del aluminio utilizamos una serie de Laurent

truncada:

$$\frac{1}{\mu_{m,\text{tr}}^{\text{air}}}(\mu_m, AL_0, AL_1, AL_2, AL_3, AL_4, BL) \simeq$$
$$\simeq AL_0 + \frac{AL_1}{(\mu_m - BL)} + \frac{AL_2}{(\mu_m - BL)^2} + \frac{AL_3}{(\mu_m - BL)^3} + \frac{AL_4}{(\mu_m - BL)^4},$$

que tiene transformada inversa de Laplace analítica:

$$AL_0 \cdot \delta(x_m) + e^{BL \cdot x_m} \cdot \left( AL_1 + AL_2 \cdot x_m + AL_3 \cdot \frac{x_m^2}{2} + AL_4 \cdot \frac{x_m^3}{6} \right).$$

Esta parametrización describe muy bien los datos en el rango de energías de diagnóstico, como puede verse en este gráfico [2] (el trazo en azul es para aluminio):

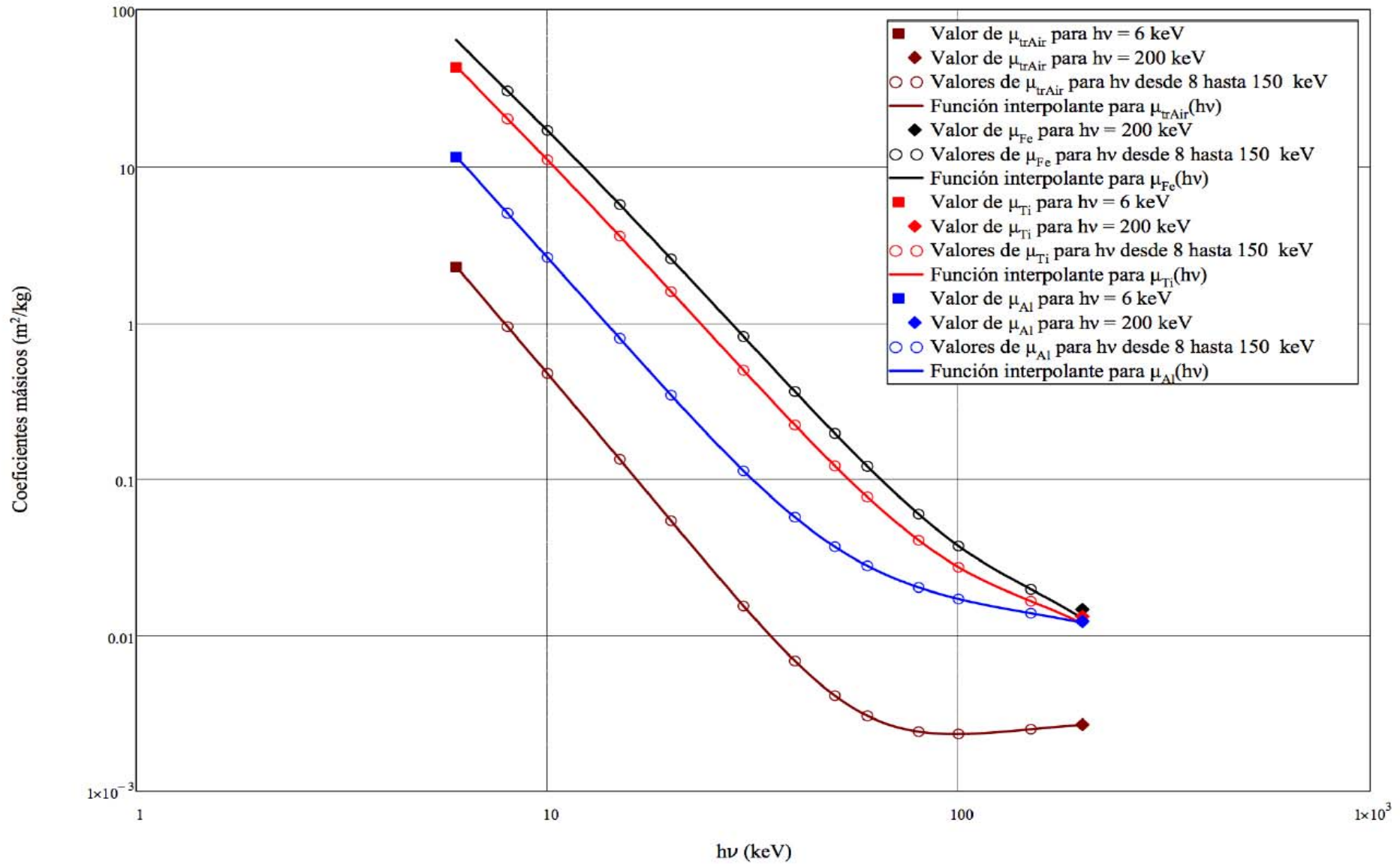


Fig. 3 Funciones interpolantes para  $\mu_{\text{trAir}}(h\nu)$  y  $\mu_{\text{Abs}}(h\nu)$ . Interpolación entre 8 y 150 keV y extrapolación a 6 keV y a 200 keV

# Conclusión

Tenemos ya  $\psi(0)$ . Para obtener la fluencia en energía del haz tras atravesar un espesor  $y_m$ ,  $\psi(y_m)$ , tendremos que considerar la curva de atenuación del haz tras atravesar ese espesor  $y_m$ . La curva de atenuación para es haz comenzará en  $y_m$  y eso se traduce en que tenemos que tomar como límite inferior de la integral  $y_m$  en vez de  $0$  para obtener  $\psi(y_m)$ .

Con ello tenemos la curva de atenuación (y la CHR, naturalmente) con Al para la fluencia de energía en función de la curva de atenuación con Al del kerma en aire.

# Referencias

[1] V. Delgado and P. Ortiz. Determination of the energy fluence of diagnostic x-ray beams from field measurements of attenuation curves. *Medical Physics* 24, 1089-1095, 1997.

[2] Javier de Areba Iglesias. Determinación de la fluencia de energía de un haz de rayos x de diagnóstico a partir de su curva de atenuación Trabajo de fin de Máster en física biomédica 2013/2014 Universidad Complutense de Madrid. Departamento de Radiología.