

MODELADO DE LA DOSIS ABSORBIDA POR UNA ESFERA PEQUEÑA EN UN CAMPO DE RADIACIÓN GAMMA

Mangussi, J.

FACET - UNT. Avda. Independencia 1800- (4000) San Miguel de Tucumán
jmangussi@herrera.unt.edu.ar

Resumen

Se presentan modelos que calculan la dosis absorbida en una esfera de volumen pequeño producida por el frenado de los electrones. Los modelos consideran un haz uniforme de fotones que incide en un medio que es agua; incluyen la primera interacción Compton y la atenuación de los fotones; consideran que la esfera está rodeada del mismo medio y que las zonas delante y detrás de la esfera contribuyen a la dosis absorbida dentro de la misma. Se calcula la dosis absorbida total y sus contribuciones para esferas de distintos radios y ubicadas a distintas profundidades de la interfase vacío – agua. La coincidencia de los resultados con las previsiones cualitativas de la bibliografía y con el valor cuantitativo de referencia asegura la bondad de los modelos desarrollados.

Palabras clave: dosis absorbida – modelo numérico - irradiación gamma

I. Introducción

En los procesos de irradiación que se realizan con cobalto-60, tales como los que se realizan en la PISI (Planta de Irradiación Semi Industrial que la CNEA opera en el CAE), la mayor contribución a la dosis absorbida se debe a la radiación directa, es decir a los fotones gamma que provienen directamente de las fuentes radiactivas. La dosis absorbida es la energía depositada por unidad de masa. Bajo condiciones de CPE (Charged Particle Equilibrium) se puede calcular la dosis absorbida como el producto de la energía del haz de fotones incidentes por el coeficiente másico de absorción de energía. Los fotones gamma en el medio material producen electrones acelerados a través de las interacciones posibles. Los electrones se van frenando en el medio y la energía perdida a través de interacciones por colisiones contribuye a la dosis en las cercanías del camino de la partícula. El rango de los electrones en el medio es el valor de expectación de la longitud del camino que recorre hasta que llega al reposo y depende de su energía cinética inicial al entrar al medio (Attix, 1986).

Para la dosimetría de los procesos de irradiación es importante conocer la dependencia de la dosis absorbida en una esfera de volumen pequeño con su posición relativa a la interfase vacío – medio. La magnitud de interés es la dosis unitaria (D) definida como la dosis dividida en el número de fotones incidentes por unidad de área.

II – Modelado de la dosis absorbida

Los modelos consideran un haz ($= 1$ fotón / m^2) uniforme y paralelo de fotones monoenergéticos de 1,25 MeV que incide en un medio que es agua. Para fotones de esta energía la interacción más importante es la interacción Compton con los electrones del medio. Bajo condiciones de CPE la dosis absorbida es igual a producto de la energía del fotón incidente y el coeficiente de absorción másica (μ_{en}/ρ). Si se considera al agua

como un medio homogéneo e isótropo, la dosis unitaria, bajo condiciones de CPE, es igual a $3,712 \times 10^{-2} \text{ MeV cm}^2 / \text{g}$, que puede interpretarse como la dosis (en MeV/g) para radiación incidente de 1 fotón / cm^2 .

Para los cálculos de absorción de energía por frenado de los electrones en agua se toma como rango máximo de los electrones el valor de 5,73 mm, que corresponde a electrones con energía cinética máxima de 1,25 MeV.

Los modelos tienen en cuenta solamente la primera dispersión de Compton ($h\nu \rightarrow h\nu'$), de manera que la energía inicial del electrón dispersado es igual a $(h\nu - h\nu')$; los modelos incluyen o no la atenuación de los fotones en el medio según la situación de cálculo.

- El modelo más sencillo desarrollado corresponde a condiciones de CPE (considera que cada electrón se frena completamente y que toda esta energía contribuye a la dosis) y el medio se considera infinito; se obtiene una dosis unitaria de referencia $D_0 = 3,700 \times 10^{-2} \text{ MeV cm}^2 / \text{g}$, que se considera bueno comparado con el valor teórico del párrafo anterior.
- Los modelos más completos calculan la dosis unitaria en una esfera contenida en el medio. La energía depositada en la esfera es la transferida por los electrones al frenarse dentro de ella. El electrón se dispersa en un punto del medio (dentro o fuera de la esfera) con energía cinética inicial igual a $(h\nu - h\nu')$ y tiene un rango que corresponde a esa energía. Se asume que el electrón puede cruzar el contorno de la esfera. Se considera el caso en que el electrón atraviesa la esfera (frenado parcial) y el caso en que el electrón se detiene dentro de la esfera (frenado total) como se muestra en la figura 1.

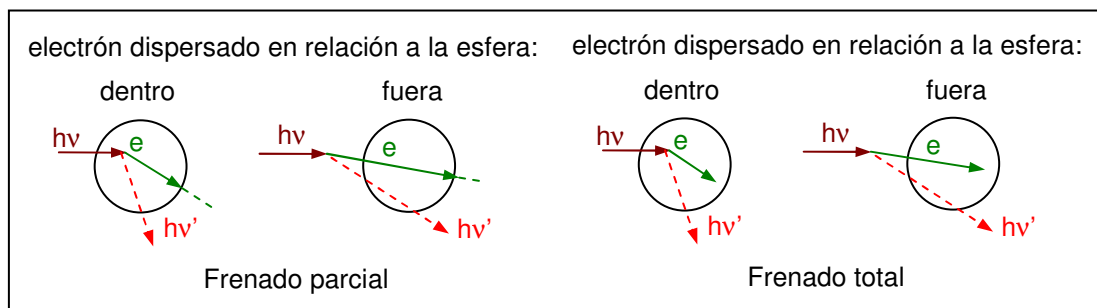


Figura 1. Contribuciones del frenado de electrones a la dosis.

III. Dosis unitaria según el tamaño de la esfera

Se considera que la esfera está rodeada del mismo medio una distancia igual al rango de los electrones, en la dirección del haz incidente y en las direcciones perpendiculares. No se incluye la atenuación del medio. Para el cálculo se distinguen las siguientes zonas: “dentro” que corresponde a dentro de la esfera, “delante” que corresponde a fuera de la esfera, en el sentido en que inciden los fotones, desde la interfase hasta el centro de la esfera y “atrás” que corresponde a fuera de la esfera, en el sentido en que inciden los fotones, desde el centro de la esfera hasta el final de la misma. La zona de adelante se divide en 6 capas de 1 mm de espesor. Las 3 zonas se muestran en la figura 2.

Se calcula para las tres zonas (dentro, delante y atrás) y el total como la suma de las tres zonas, para esferas de varios radios. Los resultados muestran que la dosis unitaria total coincide con el valor de referencia. Se observa que la contribución de la zona atrás es como máximo el 0,3 % del total y puede despreciarse, lo cual era de esperar dado que los electrones acelerados en el efecto Compton no retroceden, su ángulo máximo es $\pi/2$

con respecto a la dirección de los fotones incidentes. En la figura 3 se muestran las contribuciones a la dosis unitaria en esferas con radios entre 1mm a 1000 mm.

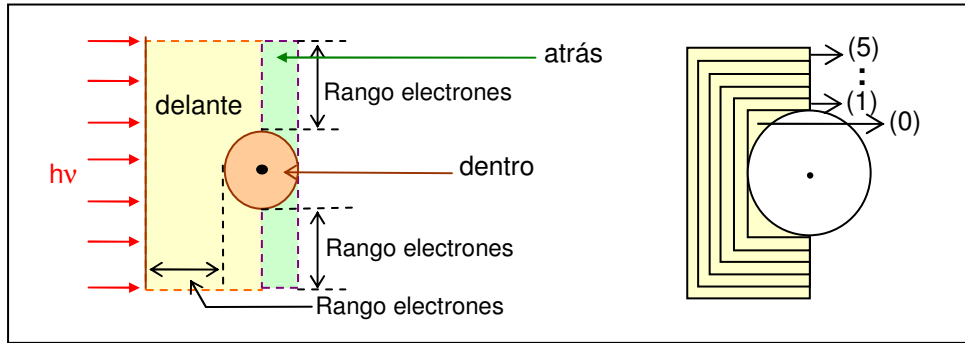


Figura 2. A la izquierda, zonas de contribución a la dosis en la esfera: dentro, delante y atrás. A la derecha, división en 6 capas de la zona delante.

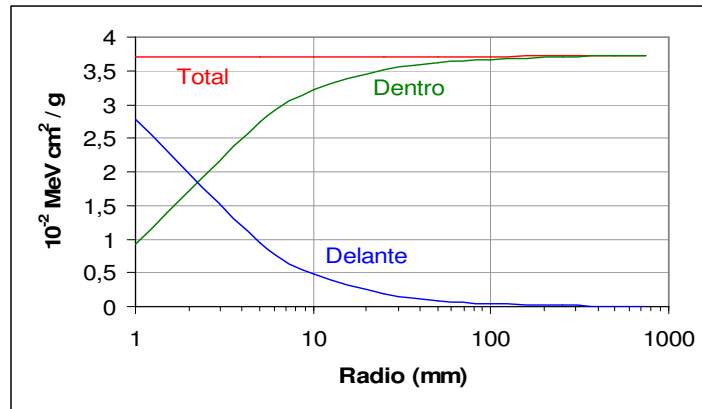


Figura 3. Dosis unitaria total y sus contribuciones originadas en distintas zonas en función del radio de la esfera. Sin atenuación de los fotones en el medio.

En la tabla 1 se muestran la contribución porcentual de cada capa de la zona de delante y en la figura 4 la energía depositada en la esfera según el lugar de origen de los electrones.

Capas	radio: 1mm	radio: 5 mm	radio: 10 mm
0 (trozo tangente esfera)	6,1 %	13,0 %	9,50 %
1 (1 mm)	23,7 %	6,1 %	1,80 %
2 (1 mm)	19,4 %	3,1 %	0,90 %
3 (1 mm)	14,0 %	1,3 %	0,30 %
4 (1 mm)	5,4 %	0,3 %	0,08 %
5 (1 mm)	2,0 %	0,01 %	0,005 %
Total delante	68,9 %	23,9 %	12,58 %

Tabla 1. Contribuciones a la dosis unitaria de la zona delante.

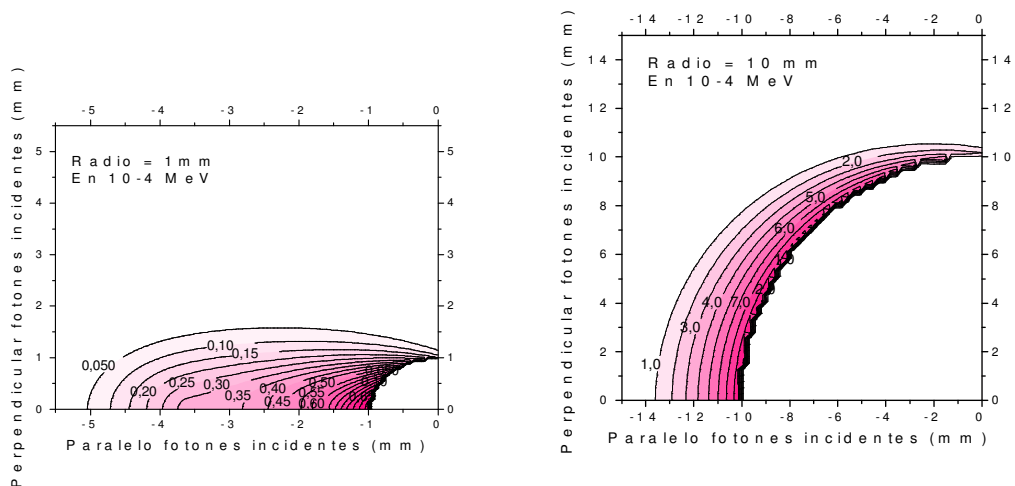


Figura 4. Energía depositada en la esfera según el lugar de origen de los electrones. A la izquierda para esfera de radio 1 mm. a la derecha, para esfera de radio 10 mm.

La figura 4 muestra la región del espacio donde se dispersan los electrones que transfieren el valor de energía indicado en la figura a la esfera (no es un mapa de dosis). Se observa que la dosis unitaria originada dentro tiende al valor de referencia cuando el radio de la esfera crece, mientras que la contribución de la zona delante se hace cada vez menos importante a medida que aumenta el tamaño de la esfera.

IV. Dosis unitaria según la ubicación de la esfera

Se calcula la dosis unitaria para una esfera, de radio 1 mm, ubicada a distintas profundidades de la interfase vacío – agua. La zona de adelante se extiende como máximo 6 mm (para incluir el rango de los electrones) desde el centro de la esfera, salvo que sea recortada por la interfase. Se calcula con atenuación y sin atenuación.

IV.1. Dosis producida por frenado de electrones

El modelo calcula la dosis unitaria a través del frenado de los electrones, no usa ningún algoritmo que provenga de imponer que se cumplen las condiciones de CPE, por lo tanto engloba las situaciones en las cuales estas condiciones se cumplen.

En la figura 5 se muestran algunos ejemplos de la zona delante para distintas profundidades, las medidas en mm.

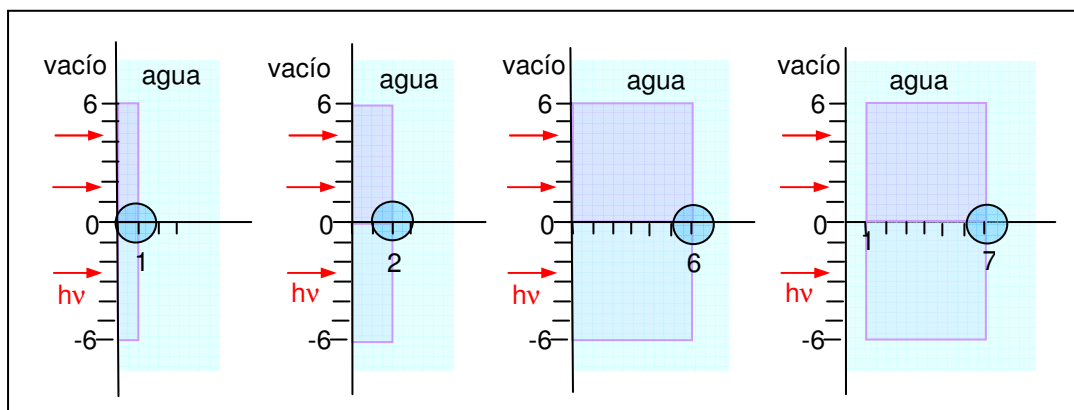


Figura 5. Variación de la zona de adelante según la profundidad donde está el centro de la esfera.

En la figura 6 se muestran las dosis unitarias calculadas con atenuación para distintas profundidades y la contribución porcentual al total de las zonas dentro y delante.

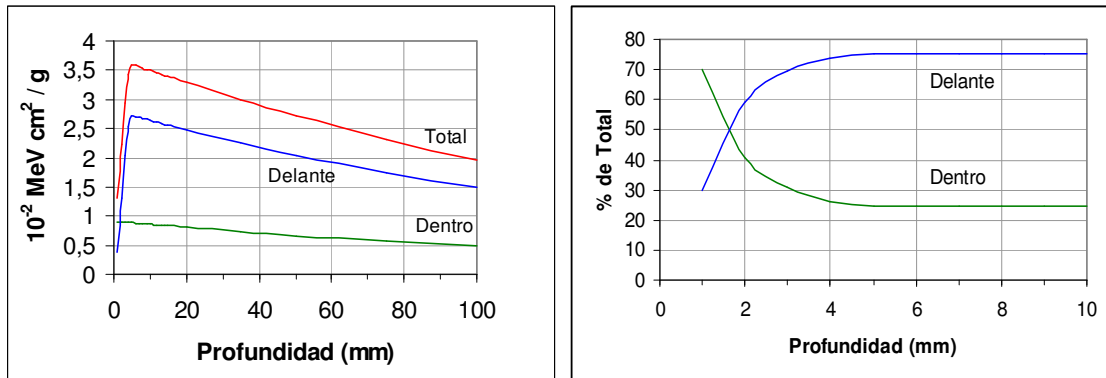


Figura 6. Para una esfera de 1 mm de radio en función de la profundidad en el medio, con atenuación de fotones. A la izquierda, dosis unitaria. A la derecha, contribución porcentual.

Se observa que hay un máximo en la dosis unitaria total a 5 mm de profundidad, que corresponde aproximadamente al rango de los electrones y que a partir de la profundidad de 2 mm la contribución de la zona delante es significativamente mayor que la de zona dentro.

IV.2. Dosis bajo condiciones de CPE

Cuando la dispersión Compton ocurre en la esfera y los electrones con energía ($h\nu - h\nu'$) se frenan completamente dentro de la misma, la dosis unitaria se calcula con $h\nu \times (\mu_{en}/\rho)$, válido independiente del tamaño de la esfera. Esta es la contribución a la dosis unitaria producida por la zona dentro. Cuando la dispersión Compton ocurre fuera (delante) de la esfera, habrá un cierto número de fotones $h\nu'$ llegan a la esfera, donde su contribución a la dosis unitaria se puede calcular con $h\nu' \times (\mu_{en}/\rho)$ en base a una argumentación similar a la del párrafo anterior. Esta es la contribución a la dosis unitaria producida por la zona delante. (Mangussi, 2007). Ambas situaciones se muestran en la figura 7.

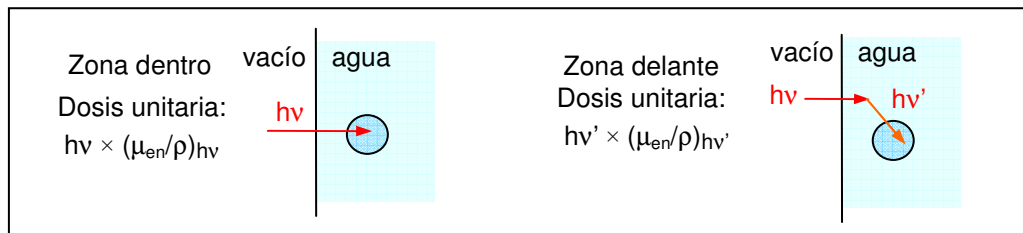


Figura 7. Contribuciones de las zonas dentro y adelante a la dosis unitaria en la esfera, bajo condiciones de CPE.

Se calcularon las dosis unitarias para profundidades que van desde 1 mm hasta 100 mm con y sin atenuación. Los resultados muestran que la contribución a la dosis unitaria de la zona delante es despreciable frente a la contribución de la zona dentro, en promedio (delante/dentro $\sim 10^{-6}$ a 10^{-7}). Estas dosis unitarias totales calculadas (identificadas como “Kerma”) se comparan con las dosis unitarias calculadas con el frenado parcial electrones (identificadas como “Dosis”) en la figura 8.

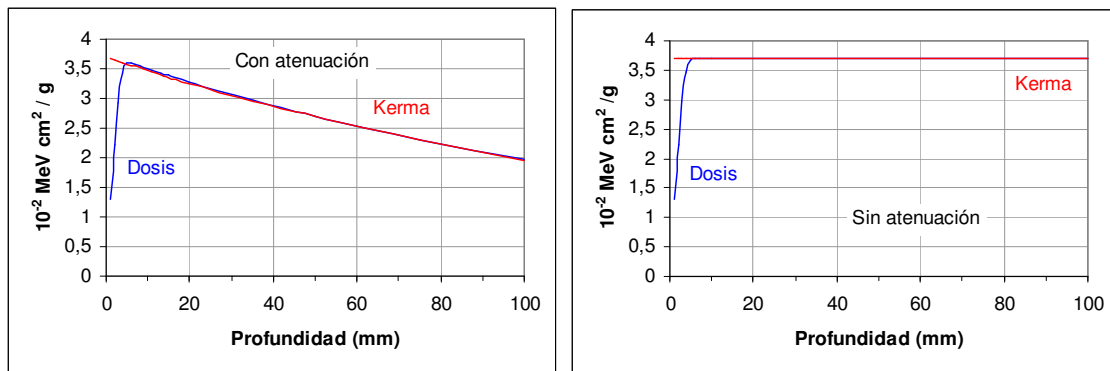


Figura 8. Dosis unitarias calculadas con dos modelos: (a) frenado de electrones y (b) bajo condiciones de CPE. A la izquierda con atenuación de los fotones en el medio. A la derecha, sin atenuación.

Tanto en el caso con atenuación como en el caso sin atenuación se observa que las dosis unitarias “Kerma” y “Dosis” coinciden para profundidades mayores que 5 mm que corresponde aproximadamente al rango de los electrones.

Para el caso con atenuación los resultados tienen la misma dependencia con la profundidad que la curva cualitativa típica de bibliografía. (Attix, 1986), (IAEA, 1977). Para el caso sin atenuación el valor de las dosis unitarias se vuelve independiente de la profundidad y es igual a la dosis unitaria de referencia.

V. Conclusiones

La coincidencia de los resultados con las previsiones cualitativas de la bibliografía y con el valor cuantitativo de referencia asegura satisfactoriamente la bondad de los modelos desarrollados.

Se propone una herramienta para el cálculo de dosimetría en un volumen de interés cuando hay cambios de medio en sus cercanías que no aseguran las condiciones de CPE.

Soporte Institucional

Este trabajo fue realizado dentro del Acuerdo Específico N° 0899 004: "Modelización y Cálculo de Dosis de Radiaciones Ionizantes en una Distribución de Fuentes Radiactivas de Uso Industrial", firmado entre la Comisión Nacional de Energía Atómica y la Universidad Nacional de Tucumán. (N° 0899 004).

Este trabajo fue parcialmente financiado por el proyecto de investigación 26/E429 “Modelos macroscópicos y microscópicos de la tasa de dosis para una planta de irradiación gamma y su potencial aplicabilidad en medicina nuclear”, aprobado por el Consejo de Investigaciones de la Universidad Nacional de Tucumán. (2008 – 2010).

Referencias

- Attix, F. H. 1986. “Introduction to Radiological Physics and Radiation Dosimetry”. John Wiley & Sons.
- IAEA. 1977. “Manual of Food Irradiation dosimetry”. Cap. 2. Technical Reports Series N° 178, Viena
- Mangussi, J. 2007. “Modelado de la contribución de la radiación generada por efecto Compton a la tasa de dosis para una situación real en una planta de irradiación semi industrial”. XXXIV Reunión Anual de la AATN. Bs. As.

MODEL OF THE ABSORBED DOSE ON A SMALL SPHERE INTO A GAMMA IRRADIATION FIELD

Mangussi, J.

FACET - UNT. Avda. Independencia 1800- (4000) San Miguel de Tucumán
jmangussi@herrera.unt.edu.ar

Several models of the absorbed dose calculated as the energy deposited by the secondary electrons on a small volume sphere are presented. The calculations use the Compton scattering of a uniform photon beam in water, the photon attenuation and the electron stopping power are included. The sphere total absorbed dose is due to the stopping of the electrons generated in three regions: into the sphere volume, ahead and behind the sphere volume. Calculations are performed for spheres of different radius and placed at various depths of the vacuum – water interface.