



## Reseñas de tesis doctorales

**Diego García Pinto\***

Comité de Redacción.

En este número volvemos a contar con dos nuevas reseñas de tesis doctorales. De esta manera nos ponemos al día con las tesis defendidas que aparecen en la base de datos de TESEO. Ambos trabajos se enmarcan en el área de la dosimetría, en particular sobre microdosimetría, un tema de gran importancia con el actual estado de desarrollo de la hadronterapia.

En el trabajo de Juan Prieto Pena se analiza la capacidad de varios dispositivos de silicio, de tamaño micrométrico, desarrollados en el CNM-CSIC y que podrían sustituir a los detectores gaseosos de mayor tamaño que se utilizan en la actualidad. Además, en su trabajo, también se muestran medidas empleando dichos detectores para haces de carbono-12 y protones en condiciones equivalentes a la práctica clínica. Los resultados experimentales se comparan con los obtenidos por medio de simulaciones mostrando un gran acuerdo entre ambos.

En el trabajo Alejandro Bertolet, presentado como colección de artículos, se nos presenta la conexión entre la descripción elemental de las interacciones entre protones y la materia en términos de microdosimetría. A lo largo de los artículos que conforman el trabajo se analizan, por medio de simulaciones, las posibles dependencias de las magnitudes microdosimétricas. Esto ha permitido desarrollar modelos que posteriormente se han comparado con medidas experimentales para haces de protones monoenergéticos. El formalismo desarrollado permite obtener distribuciones de dosis en un sistema de planificación de tratamientos.

Tal y como lo hice en los números anteriores quiero dar la enhorabuena a los nuevos doctores y darles las gracias por compartir su trabajo con nosotros. Aprovecho también para animaros a todos y todas que tengáis pensado defender la tesis en los próximos meses (o que ya lo hayáis hecho) a que colaboreis con esta sección incluyendo una reseña de vuestro trabajo en el próximo número.

Mucho ánimo a todos y todas en estos momentos tan difíciles.

---

\* Facultad de Medicina, UCM, (garcia.pinto@med.ucm.es)



## Development of silicon sensors for dosimetry and microdosimetry

**Autor:** Juan Prieto Pena

**Director:** Faustino Gómez Rodríguez

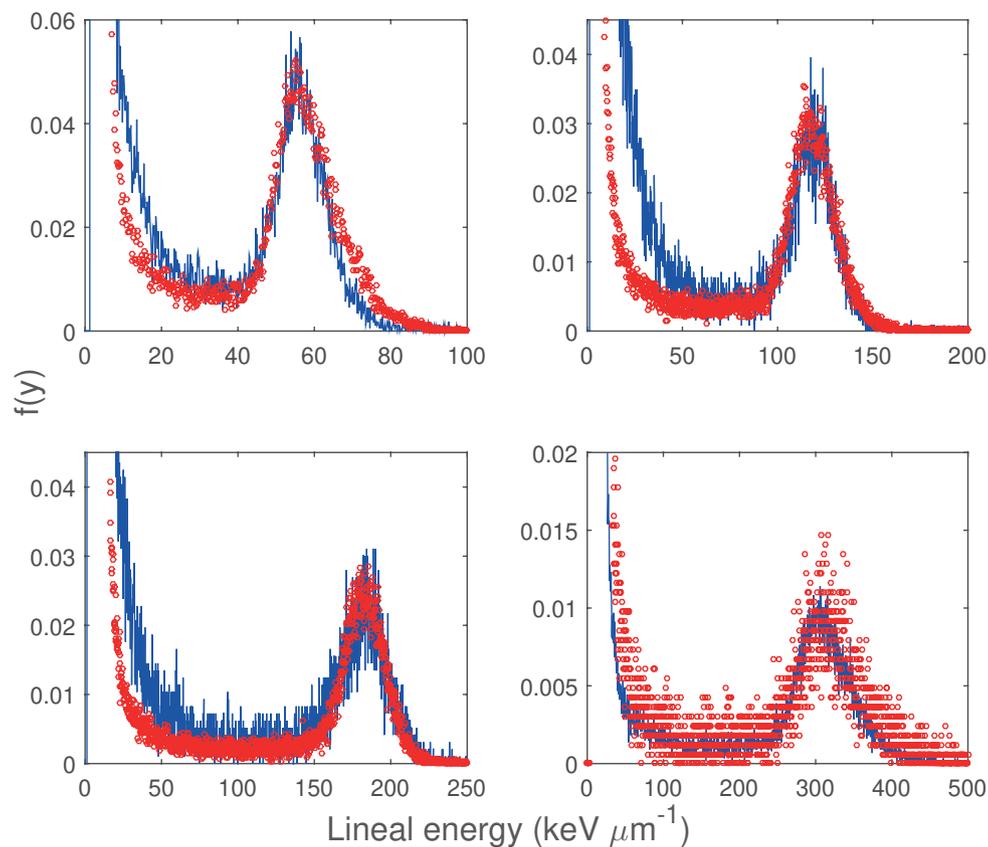
Lectura: 17/12/2019. Facultad de física, Universidad de Santiago de Compostela (USC).

El cáncer es un término muy amplio que define un gran número de enfermedades diferentes caracterizadas por ciertos rasgos comunes. La manera más común de tratar el cáncer es mediante el uso de radiación ionizante para matar las células tumorales.

En el año 1946, Robert Wilson propuso el uso terapéutico de partículas cargadas pesadas. La idea detrás de esta hipótesis es que los núcleos atómicos provocan un mayor daño a nivel celular y sub-celular

en el área tumoral y una mayor conformación de dosis que los tratamientos tradicionales con haces de fotones y electrones.

Para poder proporcionar la cantidad correcta de radiación es necesario evaluar las propiedades del haz y hacer una caracterización de la calidad de haz (es decir, el tipo de partícula y su espectro energético) por medio de medidas dosimétricas y microdosimétricas. La microdosimetría es el campo de la dosimetría que



**Fig. 1.** Comparación de espectros de energía lineal de  $^{12}\text{C}$  obtenidos mediante simulaciones de Monte Carlo aplicando efectos de colección parcial de carga y espectros experimentales para profundidades (en el sentido de las agujas del reloj, comenzando arriba a la izquierda) de 12,20; 25,20; 27,20 y 28,125 mm de PMMA. Las líneas azules indican las simulaciones de Monte Carlo, mientras que los puntos rojos indican los resultados experimentales obtenidos en CNAO.

se encarga de estudiar los aspectos espaciales, temporales y espectrales de los procesos de deposición de energía a niveles microscópicos donde la naturaleza estocástica de la interacción radiación-materia es relevante.

Los contenidos de esta tesis doctoral han sido el resultado de la investigación en los campos de la microdosimetría y la instrumentación electrónica realizados en seno del Grupo de Imagen Molecular y Física Médica de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) entre los años 2014 y 2019.

En el campo de la microdosimetría, tradicionalmente estas medidas se han venido realizando con detectores gaseosos de gran tamaño, aunque en años recientes se han propuesto algunas soluciones empleando tecnología de estado sólido. En esta tesis, se analiza la capacidad de varios dispositivos de silicio de tamaño micrométrico sin ganancia intrínseca desarrollados por el CNM-CSIC.

En este trabajo, se ha realizado una caracterización eléctrica de los diferentes tipos de detectores de silicio empleados, obteniendo como resultado que hay dos factores fundamentales del principio de funcionamiento de estos detectores que afectan a la reconstrucción

de las distribuciones de probabilidad y sus momentos de las cantidades microdosimétricas.

En volúmenes microscópicos, los fenómenos de difusión y deriva de los portadores de carga generan una colección parcial de carga en la periferia del volumen activo. Esto produce una perturbación en la reconstrucción de las distribuciones de energía impartida con respecto a las distribuciones reales. Esta desviación depende en el tamaño, geometría y condiciones de operación del detector. Por otro lado, el ruido electrónico de la lectura de cada evento genera un límite inferior a la energía lineal detectable en función del tamaño del detector.

En la tesis también se muestran las medidas realizadas empleando dichos detectores en condiciones de fluencia equivalente a la práctica clínica, con medidas realizadas con haces de carbono  $^{12}$  (GANIL, Francia y CNAO, Italia) y protones (CNAO). Se midieron los espectros microdosimétricos de esos haces a varias profundidades de PMMA hasta la zona proximal del pico de Bragg. Los resultados experimentales se compararon con los teóricos mediante simulaciones de Monte Carlo, obteniendo un acuerdo significativo entre ambos, incluso en condiciones de alta fluencia.



## Microdosimetry applied to proton radiotherapy/Microdosimetría aplicada a protonterapia

**Autor:** Alejandro Bertolet Reina

**Directores:** Miguel Antonio Cortés Giraldo y Alejandro Cárabe Fernández

Lectura: 21/09/2020, Facultad de Física, Universidad de Sevilla.

El uso de la radioterapia con protones como tratamiento contra el cáncer es cada vez más común. Sus actuales indicaciones clínicas se basan en las propiedades físicas de los haces de protones, aceptando una efectividad biológica relativa (RBE por sus siglas en inglés) constante e igual a 1.1 con respecto a la radioterapia con rayos X. Sin embargo, hay cada vez más evidencia de una RBE variable y dependiente del *lineal energy transfer* (LET) del haz de protones, que, a su vez, depende de la posición relativa a lo largo de la traza del haz. Además, la RBE depende del efecto considerado y de las propiedades biológicas de las células o tejidos considerados, así como del esquema de fraccionamiento de dosis. La microdosimetría es la

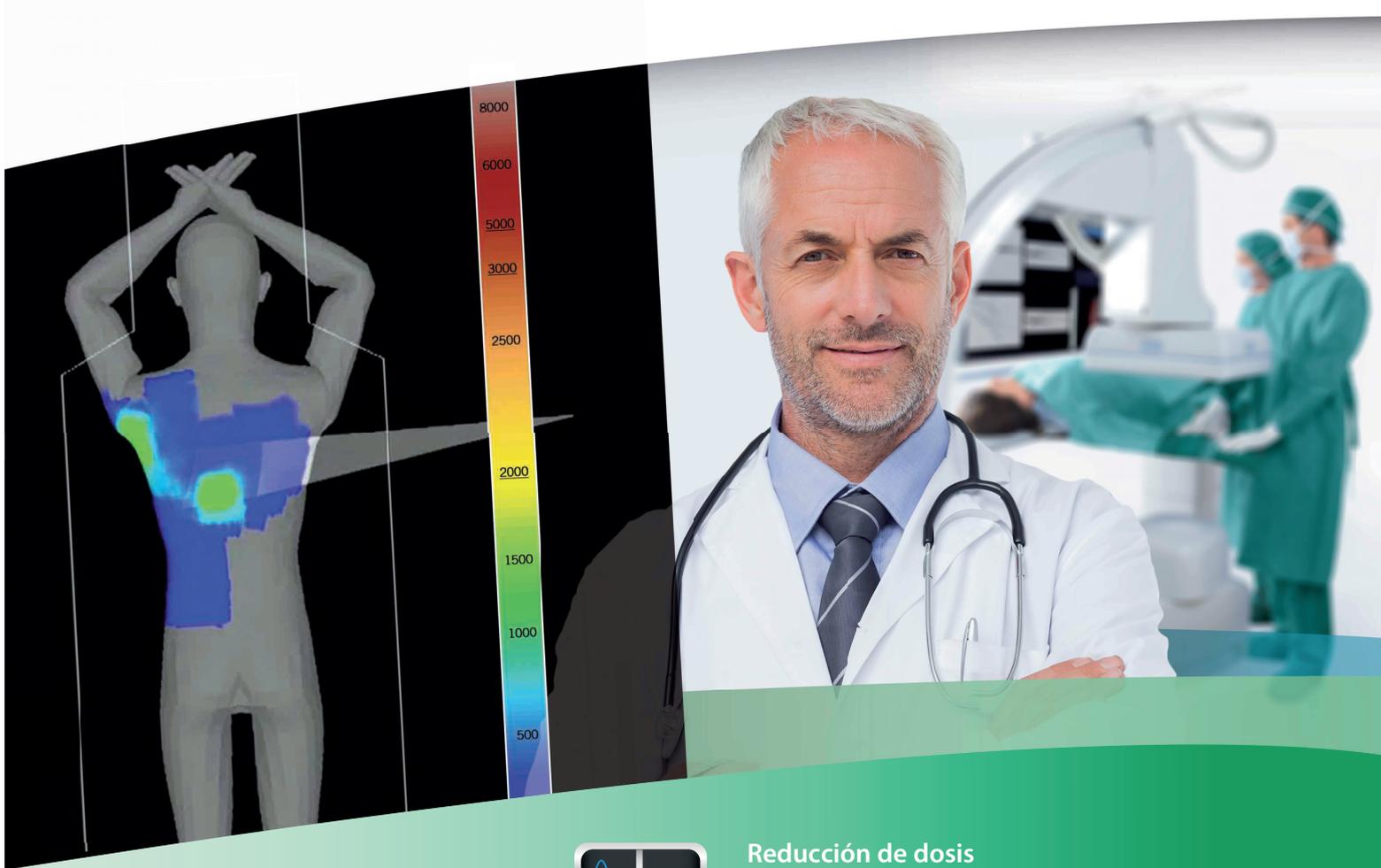
teoría que estudia los patrones de deposición de energía por haces de radiación en volúmenes de tamaño microscópico. Determinando la concentración local de energía impartida en estas dimensiones, es posible calcular el LET y otras magnitudes que caracterizan la calidad del haz. El estudio de las distribuciones de energía impartidas a esta escala puede llevar a una mejor comprensión de la RBE de los haces de protones y a una potencial aplicación clínica.

Esta tesis es una colección de siete estudios en esta dirección. Como un todo, pretende establecer la conexión entre la descripción elemental de las interacciones entre protones y materia en términos de microdosimetría y su aplicación clínica. En este

sentido, el artículo I estudia las magnitudes microdosimétricas básicas y sus dependencias, y se centra en cómo producir resultados microdosimétricos correctos usando simulaciones Monte Carlo (MC). El artículo II emplea esta metodología para generar distribuciones monoenergéticas de protones de energía cinética de hasta 100 MeV. Estas distribuciones se emplean para generar modelos analíticos de los cuales las magnitudes microdosimétricas de haces de protones polienergéticos pueden ser derivadas en lugar de emplear simulaciones MC para cada caso individual. En el artículo III, los resultados de estos modelos analíticos para haces monoenergéticos se comparan con medidas tomadas con microdosímetros de silicio expuestos a haces de protones monoenergéticos. Para calcular distribuciones espaciales de magnitudes microdosimétricas con el formalismo del artículo II, se necesita determinar el espectro del haz, o más precisamente la fluencia espectral, en cada punto. El artículo IV proporciona un formalismo independiente para calcular fluencias espectrales en haces de protones como función de la profundidad y la posición lateral respecto al eje del haz en agua líquida. Este formalismo, junto a los modelos microdosimétricos del artículo II, permite la determinación tridimensional de magnitudes microdosimétricas.

El artículo V ilustra la combinación de los formalismos de los artículos II y IV para producir cálculos de distribuciones de dosis en un sistema de planificación de tratamientos. Estos resultados se comparan con simulaciones MC independientes y cálculos analíticos clínicamente validados, mostrando resultados consistentes. Así, se proporciona una validación parcial de los modelos microdosimétricos presentados en el artículo II. A partir de estos dos formalismos también es posible obtener cálculos microdosimétricos de la *dose-mean lineal energy* ( $y_D$ ) y el *dose-averaged restricted LET*, lo que se muestra en el artículo VI. Además, las relaciones de la teoría de microdosimetría entre LET y *lineal energy* se reevalúan, y se propone y testea una nueva ecuación para calcular *restricted LET*. Finalmente, en el artículo VII, se usa el *Microdosimetric Kinetic Model* (MKM) para calcular distribuciones de RBE basadas en las magnitudes físicas obtenidas en los artículos previos. Se evalúa igualmente un nuevo método para la determinación del tamaño del *dominio* relevante para diferentes líneas celulares de acuerdo con el MKM.

Aunque el desarrollo de esta tesis se refiere específicamente a haces terapéuticos de protones, cálculos similares para otras partículas son posibles siguiendo procedimientos y formalismos análogos, lo cual representa una de las líneas de investigación más interesantes a partir de este trabajo.



### Reducción de dosis

El programa de gestión de dosis más innovador permite a los profesionales minimizar su exposición y la de los pacientes, simplemente, con un clic.

**DoseRite**<sup>™</sup>