



## Reseñas de tesis doctorales

**Diego García Pinto\***

Comité de Redacción.

En este número de noviembre os traemos las reseñas de César Rodríguez Rodríguez y Clara Freijo Escudero que han sido defendidas en el año 2023.

César nos presenta en su trabajo titulado *“Dosimetría radiocrómica basada en promedios no locales y el crecimiento de dos fases del polímero”* un nuevo modelo de curva de respuesta que junto con la utilización de un algoritmo basado en promedios no locales permite reducir la incertidumbre en la estimación de la dosis utilizando películas radiocrómicas sin comprometer la resolución espacial de las mismas y que además simplifica considerablemente el proceso de calibración de estos sistemas.

Clara en su trabajo *“Modelos de transporte en imagen médica basados en ondas, rayos e inteligencia artificial”* nos presenta la implementación de modelos de transporte de radiación electromagnética, de partículas y propagación de ultrasonidos utilizando trazado de rayos, la propagación de ondas y redes neuronales. Posteriormente nos muestra su aplicación en áreas tan distintas como la radiografía de tórax, la tomografía computarizada de ultrasonidos y la verificación del rango en protonterapia.

Como en los anteriores números, me gustaría dar la enhorabuena a los nuevos doctores y doctoras que han defendido la tesis a lo largo del año 2023. Aprovecho para invitaros a todos y a todas a que os pongáis en contacto con nosotros para incluir vuestro trabajo y darlo a conocer en nuestra revista en números posteriores.

Un saludo a tod@s.

---

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



## Dosimetría radiocrómica basada en promedios no locales y el crecimiento de dos fases del polímero

**Autor:** César Rodríguez Rodríguez

**Directores:** Diego García Pinto, Alfonso López Fernández

Lectura: 15/06/2023. Universidad Complutense de Madrid.

Enlace a la tesis completa:

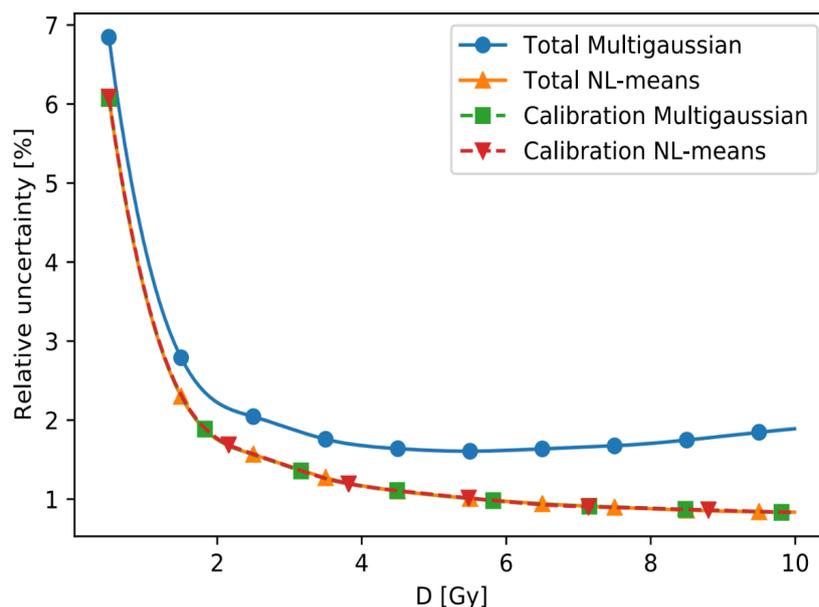
Las películas radiocrómicas debido a su alta resolución espacial, baja dependencia energética y su práctica equivalencia a tejido blando son adecuadas para medir altos gradientes de dosis o regiones sin equilibrio electrónico. Los sistemas dosimétricos que las emplean como elemento sensible necesitan completarse con un sistema lector, normalmente un escáner de sobremesa de calidad fotográfica. En la práctica sus ventajas potenciales se ven contrarrestadas por incertidumbres que complican su utilización y reducen su utilidad.

El sistema se caracteriza mediante la curva de respuesta que relaciona la señal digital producida por el escáner con la dosis absorbida en la película. Esta curva no es lineal y en general se describe mediante modelos empíricos. A pesar de ser conocidos tanto el tipo de absorbentes de luz que la radiación genera como la descripción cuantitativa de la respuesta

espectral de estos absorbentes, hasta la fecha este conocimiento no ha sido incorporado en la formulación de los modelos.

Al digitalizar la película, el escáner genera señal en tres canales de color. La introducción en 2011 del procesado multicanal, que utiliza simultáneamente la información de los tres canales, supuso una mejora dosimétrica al reducir las incertidumbres asociadas a variaciones de espesor de la capa sensible.

En esta tesis se propone un modelo de curva de respuesta basado en la descripción de la diferente cinética de dos absorbentes diferentes. Se ha introducido también un procesado basado en un algoritmo de reducción de ruido por medio de promedios no locales. Ambos ítems se han combinado en un protocolo dosimétrico de digitalización única, en el que en la misma digitalización se calibra el sistema y se realiza la lectura de dosis.



**Fig. 1.** Comparación de incertidumbres entre el procedimiento propuesto en la tesis frente a otro comúnmente aceptado. Se distingue entre la incertidumbre asociada a la calibración y la total, que combina las incertidumbres de calibración y lectura.

La curva de respuesta propuesta es una combinación lineal de dos curvas de saturación, una por cada absorbente. Los coeficientes lineales del modelo son determinados por el estado de la película y del escáner en el momento de la medida. Estos coeficientes lineales, que son los únicos parámetros libres de la curva de respuesta para un modelo de escáner y película dados, se pueden actualizar de manera robusta durante la digitalización a partir de una muestra de dosis absorbida conocida. El artefacto de respuesta lateral se corrige mediante la caracterización de la variación de estos coeficientes con la posición. Por su parte el procesamiento basado en promedios no locales supone una mejora

respecto a otros algoritmos multicanal aceptados, al no imponer una correlación en el ruido presente en cada canal.

En conclusión, la nueva curva de respuesta abre la posibilidad de consensuar entre usuarios las formas funcionales propias de un modelo de escáner y película, facilitando la calibración del sistema. Además el procesamiento basado en promedios no locales disminuye las incertidumbres dosimétricas por su capacidad para reducir el ruido sin comprometer la resolución espacial y sin requerir múltiples imágenes facilitando la implementación de un procesamiento de digitalización única.



## Modelos de transporte en imagen médica basados en ondas, rayos e inteligencia artificial

**Autor:** Clara Freijo Escudero

**Director:** Joaquín López Herraiz

Lectura: 06/10/2023. Universidad Complutense de Madrid.

Enlace a la tesis completa:

La imagen médica emplea distintos tipos de radiación para obtener información de la anatomía y fisiología de los pacientes. La selección del modelo físico para describir el transporte de la radiación en el cuerpo influye tanto en la calidad diagnóstica de las imágenes como en el tiempo necesario para obtenerlas. En esta tesis, se implementaron distintos modelos de transporte de radiación electromagnética, de partículas y acústica utilizando trazado de rayos, ondas y redes neuronales (NN) en tres modalidades de imagen médica: radiografía de tórax (CXR), tomografía computarizada por ultrasonido (USCT) y verificación del rango en protonterapia.

En CXR, la dispersión de los fotones en el paciente reduce el contraste de la imagen. Para estimar y corregir esa dispersión, se entrenaron varias redes neuronales utilizando CXRs simuladas con un código Monte Carlo de trazado de rayos. Todos los modelos demostraron una buena precisión, siendo ligeramente mejores aquellos que emplean rayos X de energía dual. Además, se comprobó que el contraste en regiones de pulmón afectadas por COVID-19 aumenta tras corregir la radiación dispersada.

Por otro lado, la imagen de USCT proporciona información cuantitativa de las propiedades acústicas de los tejidos, como la velocidad del sonido (SoS).

Mediante un conjunto de transductores situados alrededor del objeto de estudio, se pueden realizar medidas de la transmisión y reflexión de ondas acústicas. Para reconstruir los mapas de SoS de forma rápida y precisa, presentamos un nuevo algoritmo que combina métodos de inversión de onda completa (FWI) y trazado de rayos. Este método se validó con datos medidos en dos maniqués, obteniendo muy buena resolución y precisión en un tiempo suficientemente rápido para aplicaciones preclínicas.

Finalmente, el modelado eficiente del transporte de radiación se aplicó al campo de la protonterapia. La protonterapia es una técnica para tratar tumores con alta precisión que permite reducir la dosis depositada en tejidos sanos. Sin embargo, esa alta precisión requiere métodos para verificar que la dosis depositada coincide con la planificada. Uno de los métodos propuestos es el de la protoacústica, que emplea las señales de ultrasonido inducidas por los haces de protones. En esta tesis, el plan de tratamiento se empleó para simular de forma realista las señales acústicas inducidas que se producirían en la irradiación. Esas simulaciones sirven para estimar la posición de la dosis máxima a partir de las señales acústicas medidas mediante el uso de diccionarios y/o redes neuronales. La capacidad de ambos métodos

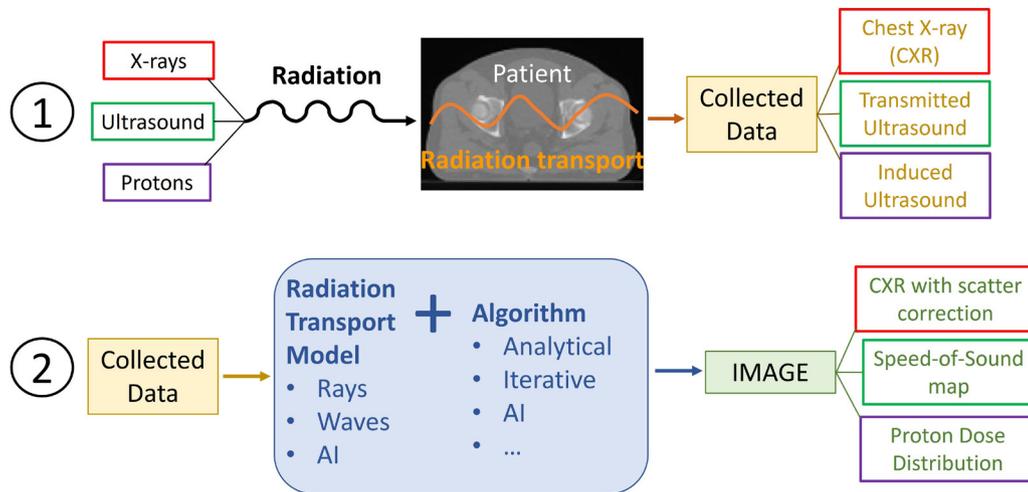


Fig. 1. Representación esquemática del trabajo de esta tesis.

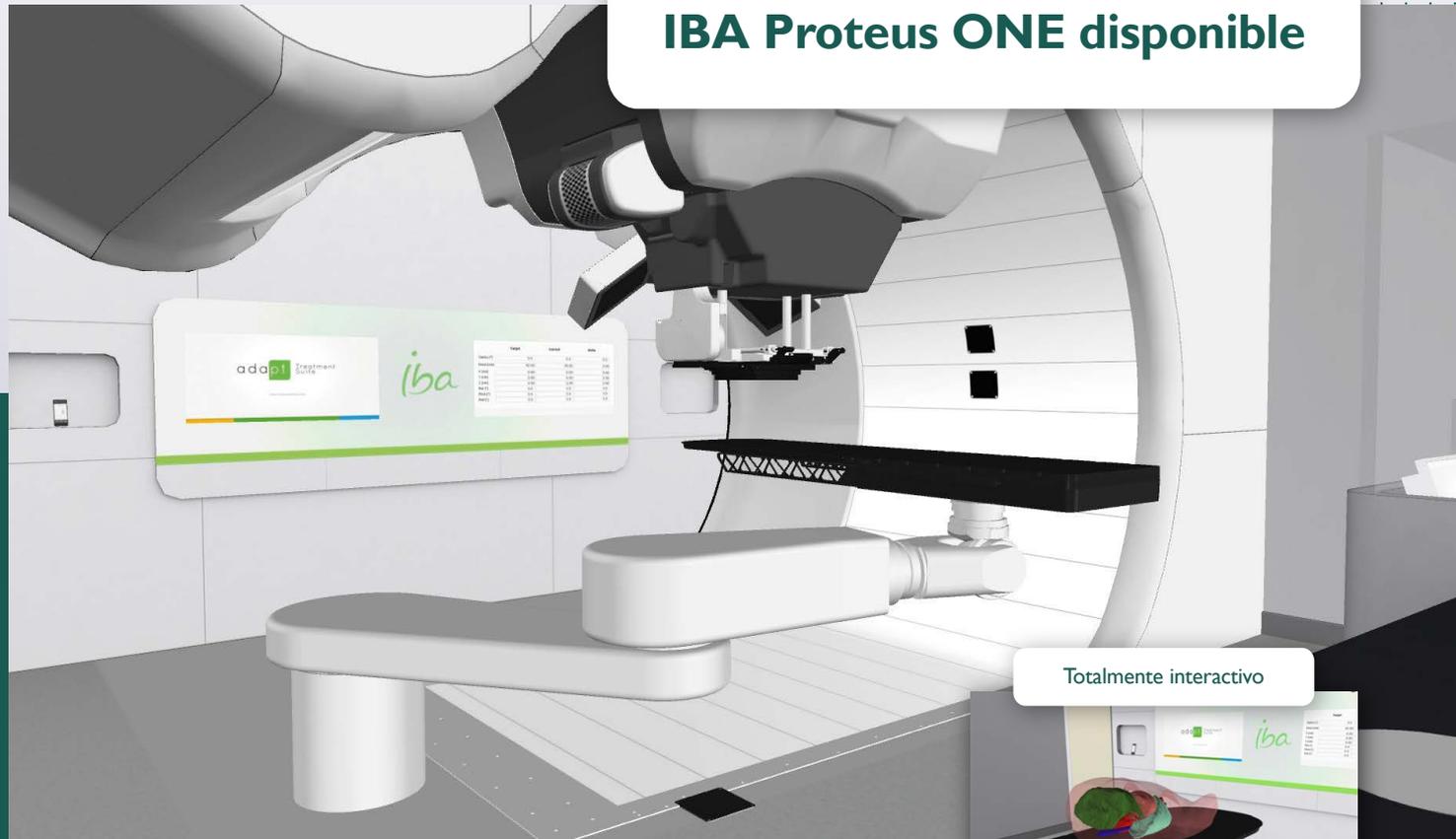
para detectar errores de deposición de dosis se evaluó en un estudio de simulación de próstata, siendo capaces de identificar variaciones en el rango con una precisión del orden de 1 mm y en un tiempo de 100 ms, permitiendo la verificación en tiempo real.

Esta tesis destaca la importancia de elegir el modelo de transporte de radiación adecuado en imagen médi-

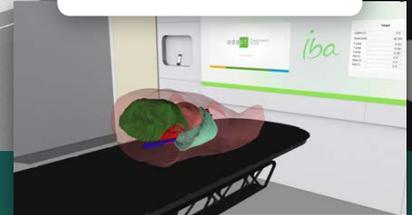
ca para cada caso. Si la prioridad es un menor tiempo de reconstrucción, se prefieren modelos aproximados o preentrenados; si se necesita una mejor calidad de imagen, es necesario usar modelos más realistas. Los métodos de Inteligencia Artificial pueden lograr un rendimiento rápido y de alta calidad, pero requieren cálculos extensos y muchas pruebas de verificación.

# Simulador de protonterapia VERT para formación

**IBA Proteus ONE disponible**



Totalmente interactivo



Modelos de administración de dosis



Comparación de distribución de dosis



Mejora el plan de estudios actual con tecnología punta.



Introduce las últimas técnicas clínicas sin necesidad de prácticas en clínica.



Compara los planes de tratamiento con protones y fotones.



Garantiza que los estudiantes reciban enseñanzas y competencias más actualizadas.



Póngase en la vanguardia de la enseñanza de radioterapia.

**VERTUAL**

Distribuido en España por:

**APLICACIONES TECNOLÓGICAS** | **RADIATION PROTECTION & MEDICAL**

Tel: (+34) 91 352 54 54 | [atfísica@atfísica.com](mailto:atfísica@atfísica.com) | [www.atfísica.com](http://www.atfísica.com)