



## Revisión de Artículos

**Guadalupe Martín Martín\***

Comité de Redacción.

Estimadas compañeras y compañeros,

Para este primer número de la Revista del año 2016, contamos con cuatro interesantes comentarios sobre trabajos científicos publicados en revistas internacionales de nuestro campo de reconocido prestigio.

Para empezar, Juan Diego Azcona nos presenta un método para determinar de forma experimental los “kernels” del algoritmo de cálculo *pencil beam* que caracterizan un haz de fotones de Megavoltaje en un acelerador lineal sin filtro aplanador. Esto implica la obtención de un sistema de cálculo independiente de distribuciones de dosis y tiempos de tratamiento para intensidad modulada. A continuación, Elena Prieto Azcárate nos presenta su trabajo en el que ha evaluado la influencia del algoritmo de reconstrucción sobre la calidad de imagen en estudios cerebrales de un PET/TAC de última generación. Su estudio permite la elección del algoritmo más apropiado para cada radiotrazador, lo cual puede suponer un cambio en los parámetros del filtro post-reconstrucción determinados por el fabricante. Por otro lado, Inmaculada Martínez Rovira nos comenta los progresos en su investigación sobre optimización de la dosis local en la combinación de protonterapia y nanopartículas. Este trabajo aporta nuevas indicaciones sobre los mecanismos involucrados en la radiosensibilización de nanopartículas y hadronterapia. Finalmente, contamos con el comentario de David Sevillano, en el que nos explica el desarrollo de un método general para obtener “recetas” de márgenes para técnicas específicas de los tratamientos de próstata en Tomoterapia. Esta herramienta posee la capacidad de discriminar si es necesario modificar los márgenes debido a las características dosimétricas de una nueva técnica con respecto a las anteriores.

Espero que disfrutéis con los trabajos publicados en esta sección y os animo, como en ediciones anteriores, a participar con sugerencias de artículos que consideréis apropiados para incluir en el próximo número de la Revista. Gracias.

---

\* Correspondencia  
Email: [guadalupe.martin@salud.madrid.org](mailto:guadalupe.martin@salud.madrid.org)



## Experimental pencil beam kernels derivation for 3D dose calculation in flattening filter free modulated fields

Azcona JD, Barbés B, Wang L, Burguete J  
Phys Med Biol 2016;61(1).

### Juan Diego Azcona

Servicio de Radiofísica. Clínica Universitaria de Navarra.  
jazcona@unav.es

### ¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

El cálculo de la dosis en radioterapia es uno de los aspectos fundamentales en los que el radiofísico aporta su experiencia en un servicio de oncología radioterápica. En este ámbito, el estudio recogido en el artículo surgió de una doble motivación. Motivación por un lado académica, ya que nos interesaba entender el depósito de dosis en campos de intensidad modulada, y establecer con las herramientas disponibles en un servicio hospitalario un sistema de cálculo dosimétrico que funcionase en estas condiciones. Por otro lado, la motivación era también práctica. Buscábamos poder aplicar ese conocimiento para calcular tiempos de tratamiento y distribuciones de dosis que pudiéramos comparar en un medio homogéneo con los del planificador teniendo así una doble comprobación para los tratamientos con intensidad modulada.

La investigación incluye la caracterización de los núcleos de convolución de haz filiforme (“pencil beam kernels”) específicos de cada acelerador lineal, así como la caracterización de la fluencia que sale del cabezal. Este trabajo es la evolución de una línea que comenzó en 2004 con dos aceleradores Siemens. En este último artículo hemos extendido el formalismo para haces sin filtro y lo hemos validado en sendos haces de este tipo generados en aceleradores Elekta (Versa™) y Varian (TrueBeam™).

### ¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

En primer lugar hubo una complejidad conceptual, que fue la de caracterizar la fluencia a aplicar en la integral de convolución del algoritmo “pencil beam” a partir de magnitudes que se pueden medir, como perfiles de dosis; o la interpretación de los resultados de la deconvolución como “kernels” que permiten reconstruir las penumbras geométrica y física de un haz, así como recuperar las curvas de factores de campo. Por otro lado, hubo una complejidad matemática, que fue la de implementar una versión discreta de la transformada de Hankel análoga a la transformada discreta de Fourier. Hubo que desarrollar código en Matlab® ya que esta herramienta no dispone de funciones programadas para estos cálculos. Finalmente, la tercera complejidad fue logística, que fue la de utilizar película radiográfica. Es difícil conseguir película radiográfica hoy en día y además quedan pocas reveladoras. La película se utilizó para caracterizar el “kernel” debido a su gran resolución espacial.

### ¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

El resultado principal fue el de establecer y validar un método de cálculo de dosis absorbida, en 3D y general para haces de fotones con y sin filtro, que permite obtener los núcleos de convolución asociados a un acelerador lineal de manera experimental, sin simulaciones como Monte Carlo. Los resultados de la validación son muy buenos tanto para distribuciones de dosis como para tiempos de tratamiento, en distintas profundidades. Las curvas de factores de campo están bien reconstruidas.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

La faceta más práctica es la de tener un sistema de cálculo independiente de distribuciones de dosis y tiempos de tratamiento para intensidad modulada. No menos importante es la profundización que hemos desarrollado los autores en el conocimiento de los aspectos de cálculo y medida de la dosis absorbida en radioterapia, a través de los problemas que han surgido y las soluciones que hemos ido estudiando, a lo largo de toda la investigación.



## Brain PET imaging optimization with time of flight and point spread function modelling

Prieto E, Martí-Climent JM, Morán V, Sancho L, Barbés B, Arbizu J, Richter JA  
Phys Med 2015 Dec;31(8).

### Elena Prieto Azcárate

Servicio de Física Médica. Clínica Universitaria de Navarra.  
eprietoaz@unav.es

---

### ¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

En la Clínica Universidad de Navarra se adquirió un tomógrafo PET/CT de nueva generación, que disponía de los últimos avances en PET/CT: técnica de tiempo de vuelo y reconstrucción con modelización de la respuesta del sistema. Estas técnicas han supuesto un cambio sustancial en la calidad de imagen; tanto que incluso los médicos nucleares han necesitado un periodo de adaptación a estas nuevas imágenes. En el área de oncología, ya habíamos realizado un trabajo de optimización y de búsqueda de los parámetros de cuantificación más precisos. Tras ese primer estudio, detectamos la necesidad de hacer un estudio de investigación específico para PET de cerebro, ya que el algoritmo de reconstrucción elegido en esta aplicación parecía un factor crítico.

### ¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Desde el principio de este estudio, nos planteamos que era necesario llevar a cabo el estudio para distintos radiotrazadores, ya que la distribución de cada uno de ellos es muy particular y además el objetivo diagnóstico para cada radiotrazador puede requerir diferentes características de calidad de imagen.

En aquel momento disponíamos del maniquí Hoffman 3D que simula la distribución de radiactividad de un estudio de FDG. Se trata de un maniquí de un único compartimento donde la diferente concentración entre tejidos se consigue con placas de distintos espesores. Por tanto, no admite ninguna posibilidad de modificar la distribución de trazador. Por ese motivo, decidimos adquirir el maniquí Hoffman 2D que dispone de varios compartimentos rellenables individualmente. A pesar de su mayor flexibilidad, este maniquí solo permite simular mayor captación en corteza que es sustancia blanca. Por tanto, ha quedado pendiente de explorar la calidad en los estudios PET con marcadores de beta-amiloide.

### ¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

Se ha comparado la calidad de imagen en términos de coeficiente de recuperación, ruido y relación contraste ruido con todos los algoritmos de reconstrucción disponibles en el tomógrafo PET de este estudio. Esto nos ha permitido conocer y entender la influencia de cada parámetro en la calidad de imagen final. Así, se han obtenido los parámetros de reconstrucción óptimos para cada procedimiento diagnóstico en neurología.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

En el caso de la FDG, este estudio supuso un cambio en el procedimiento de reconstrucción de los estudios cerebrales. Hasta la realización de este estudio, las imágenes se reconstruían con los parámetros (número de iteraciones y subconjuntos) que venían predeterminados de fábrica. Tras la realización de este estudio se decidió cambiar el filtro post-reconstrucción.

Para el resto de fármacos, este estudio ha servido para demostrar la influencia de las diferentes técnicas de reconstrucción en la calidad de imagen, y ha permitido elegir el mejor algoritmo para cada radiotrazador. En concreto, se ha demostrado que la modelización de la función de respuesta no es conveniente para algunos radiofármacos.



## Evaluation of the local dose enhancement in the combination of proton therapy and nanoparticles

Martínez-Rovira I, Prezado Y  
Med Phys 2015 Nov;42(11).

### Inmaculada Martínez Rovira

Laboratorio IMNC-Centre National de la Recherche Scientifique (CNRS), Orsay, Francia.  
Grup de Recerca en Radiacions Ionitzants (GGRI), Universitat Autònoma de Barcelona (UAB),  
Cerdanyola del Vallès, Espanya.  
[immamartinez@gmail.com](mailto:immamartinez@gmail.com)

---

#### ¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

En los últimos años, el uso de nanopartículas como radiosensibilizadores tumorales se ha propuesto como un gran avance en radioterapia. Para este propósito se han usado mayoritariamente haces de fotones, aunque recientemente algunos estudios biológicos han evaluado el efecto combinado de las nanopartículas con haces de hadrones. Los experimentos biológicos realizados hasta el momento con este tipo de haces han mostrado un claro aumento de la muerte celular en el tumor. No obstante, los mecanismos implicados no se conocen con profundidad. Estos se han asociado tentativamente a un aumento de la ionización y emisión de electrones inducidos por la interacción de los iones primarios o de los electrones secundarios con la nanopartícula, lo que resultaría en una mayor deposición local de energía. Con el fin de verificar esta hipótesis, en este trabajo evaluamos mediante simulaciones Monte Carlo los posibles efectos físicos implicados en tratamientos de protonterapia combinados con nanopartículas (de oro y gadolinio).

#### ¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

El reto principal de este trabajo ha sido la evaluación de la deposición de energía a nivel nanométrico en torno a la nanopartícula, realizando además los cálculos en condiciones realistas. En los pocos estudios existentes, el haz de protones se hace colisionar directamente contra la nanopartícula con el fin de acelerar los cálculos, lo cual introduce un *bias* en los resultados. Por lo tanto, en este trabajo se evaluaron diferentes configuraciones geométricas de irradiación más cercanas a casos realistas.

#### ¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

Los cálculos no mostraron una diferencia significativa en cuanto a la deposición local de energía en presencia o ausencia de nanopartículas. Esto sugiere que los efectos físicos no son el principal responsable del aumento de radiosensibilización tumoral observado en estudios biológicos que combinan protonterapia y nanopartículas. Otros posibles participantes, como procesos bioquímicos, podrían desempeñar un papel fundamental en la amplificación del daño observado en presencia de nanopartículas.

#### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Este estudio proporciona nuevas indicaciones sobre los mecanismos involucrados en la radiosensibilización de nanopartículas y hadronterapia, el cual hasta ahora se asumía que era debido a un aumento de dosis local. Para comprender bien los efectos involucrados se requiere un enfoque interdisciplinar (física, química, biología y medicina). Con este objetivo hemos iniciado otro trabajo que nos permite evaluar los efectos bioquímicos en presencia de nanopartículas usando espectroscopia infrarroja por transformada de Fourier (FTIR). Nuestro primer trabajo con haces de fotones ha sido publicado en la revista *Analyst* (doi: 10.1039/c5an02378e). Actualmente, se están llevando a cabo estudios con hadrones.



## A general method for the definition of margin recipes depending on the treatment technique applied in helical tomotherapy prostate plans

Sevillano D, Mínguez C, Sánchez A, Sánchez-Reyes A  
Phys Med 2016 Jan;32(1).

**David Sevillano Martínez**

Sección de Radiofísica. Unidad de Radioterapia. Hospital Universitario de Torrejón.  
dsevillano@gmail.com

### ¿Cuál ha sido la motivación para empezar este artículo?

La motivación principal para empezar este estudio fue intentar averiguar las dosis recibidas por nuestros pacientes en presencia de errores geométricos (de posicionamiento, de contorno o debidos al movimiento interno) para la técnica de Tomoterapia. En general, al hablar de márgenes aplicados a volúmenes objetivos, se ignoran las características dosimétricas de los planes de tratamiento imponiendo una conformación perfecta.

Una vez se obtuvieron histogramas dosis-población para los errores propios de nuestra unidad de Tomoterapia y nuestras distribuciones de dosis y, al descubrir que estos no guardaban relación con las que se debían obtener con la fórmula de márgenes de Van Herk, se indagó en cómo podría generalizarse el comportamiento de planes reales frente a errores geométricos.

### ¿Cuáles fueron los principales retos y dificultades para realizar el trabajo?

Uno de los problemas principales a la hora de intentar hacer esto es que en los planes reales ya han sido aplicados unos márgenes determinados, por lo que hay que encontrar un método que aparte esta variable.

Tampoco se sabía a priori si, al trazar las coberturas obtenidas para nuestros planes con coberturas teóricas basadas en funciones gaussianas, estas fuesen a comportarse de manera similar. Hay que tener en cuenta que las distribuciones de dosis en una técnica como la Tomoterapia son muy complejas, y cabría esperar una inhomogeneidad en los márgenes dosimétricos a lo largo de la superficie del PTV. Afortunadamente, una vez tomados los datos, se observó que estos eran trazables a las coberturas esperadas por funciones gaussianas y que se podía reducir toda la complejidad del tratamiento a las tres direcciones en el espacio.

### ¿Cuál ha sido el hallazgo y los resultados más importantes del estudio?

Se ha obtenido un método general para conocer los márgenes dosimétricos y aleatorios, que son aquellos que vienen dados por la reducción de la distancia entre el GTV y la isodosis de interés causada por las variaciones diarias de la posición del paciente, de una técnica determinada. Para ello basta con tener la capacidad de obtener histogramas dosis-población para distintos errores sistemáticos ( $\Sigma$ ) y aleatorios ( $\sigma$ ) de planes de la técnica y localización de interés. Al poder diferenciar los márgenes para cada dirección, estos se pueden incluir directamente en recetas de márgenes.

Este trabajo representa la primera medida conocida por los autores de márgenes dosimétricos y aleatorios para la técnica de Tomoterapia. En el caso de márgenes dosimétricos, se obtuvieron valores menores a aquellos presentados por Gordon et al. (Med Phys 2008) para IMRT y, en el caso de aleatorios, se ha podido comprobar que los valores son menores que los de la fórmula de Van Herk ( $0.7\sigma$ ), aunque mayores que los que se habían estimado para IMRT por McKenzie et al. (Phys Med Biol 2000).

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Con este método, al poder aplicar recetas de márgenes que tengan en cuenta las distribuciones reales obtenidas con una técnica específica, se puede tener un conocimiento mucho mayor del efecto de los errores geométricos en nuestros tratamientos. Se va a poder responder a la pregunta, al comenzar con una nueva técnica, de si tenemos que modificar nuestros márgenes debido a que las características dosimétricas de la nueva técnica sean diferentes a la anterior.

*Perfectly aligned.*



Rotating  
phantom  
Multiple arrays  
DVH <sup>4D</sup>



# OCTAVIUS

4D Patient IMRT QA

CONTACTO:

Email : [info@ptwdi.es](mailto:info@ptwdi.es)  
Teléfono : +34 96 346 28 54  
FAX : +34 96 321 21 40

