



## Revisión de Artículos

**Francisco Clemente\***

Comité de Redacción.

Estimados amigos,

Presentamos, para este número, una selección de cuatro reseñas sobre trabajos publicados por compañeros profesionales en dos revistas internacionales de reconocido prestigio, como son *Medical Physics* y *Physica Medica*.

En el primero de ellos, Roberto Sánchez nos expone la metodología establecida para alcanzar la propuesta de valores de referencia en procedimientos de cardiología intervencionista, y respaldados por la Sociedad Española de Cardiología. El resto de los trabajos se centran en el área de terapia. En esta parte, Beatriz Sánchez Nieto expone en su trabajo un estudio y evaluación de la probabilidad de inducción de un segundo cáncer primario, como consecuencia de un primer tratamiento de próstata con fotones de alta energía. En el segundo, dentro de este ámbito, Samuel Ruiz nos propone un estudio de dosimetría in-vivo en braquiterapia de alta tasa de dosis mediante detectores mosfet. Para finalizar, Alejandro Bertolet nos ofrece la reseña para uno de los varios trabajos que su grupo ha publicado respecto de la generación de cálculos analíticos de *linear energy transfer* (LET) en protonterapia.

Esperamos, una vez más, que los trabajos presentados sean de vuestro agrado. Como en ocasiones anteriores, me gustaría daros las gracias a todos, queriendo hacer un énfasis especial al tiempo dedicado por los autores para transmitirnos sus aportaciones en estas reseñas, dado el escenario de excepcionalidad por el que estamos pasando, derivado de la situación con la COVID-19; como decimos, el tiempo invertido por estos autores tiene, si cabe, un mayor valor.

Un fuerte abrazo.



## Updating National Diagnostic Reference Levels for Interventional Cardiology and Methodological Aspects

Sánchez R, Vañó E, Fernández Soto JM, Ten JI, Escaned J, Delgado C, García B, Carrera Magariño F, Díaz Fernández JF, Martínez Luna RJ, Romero Moreno MA, Catalán A, Bosa Ojeda F, Rosales Espizua FJ, Sáez Moreno JR, Pifarré X, Goicolea J, Ordiales JM, Nogales JM, Martínez G, García P, Benedicto A, Rodríguez Castillo MF, Pastor Torres L, Font J, Bethencourt A, Cesteros MJ, Pérez A, Pinar E, Tobarra B  
 Phys Med 2020;70:169-75;DOI:10.1016/j.ejmp.2020.01.014.

### Roberto Sánchez

Hospital Clínico San Carlos, Madrid. Universidad Complutense de Madrid.  
 robsan03@ucm.es

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

El grupo DOCCACI se reunió por primera vez en el año 2009 para promover el establecimiento de niveles de referencia para diagnóstico en cardiología intervencionista, siguiendo las recomendaciones de ICRP, desarrolladas en la directiva 97/43/EURATOM que obligaba a los países miembros a promover el establecimiento de niveles de referencia para diagnóstico. En el año 2014 el grupo publicó una propuesta de niveles de referencia respaldado por la Sociedad Española de Cardiología (<https://www.hemodinamica.com/cientifico/registros-y-trabajos/registros-y-trabajos-actuales/proyecto-doccaci/>).

Con la publicación de la directiva 2013/59/EURATOM la Comisión Europea obliga a los estados miembros a establecer, usar y revisar regularmente los niveles de referencia para diagnóstico.

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

La coordinación de un grupo compuesto de 14 centros que ha monitorizado 29 salas de cardiología intervencionista. Se trata de un grupo multidisciplinar donde participan hemodinamistas, cuya tarea implica la clasificación de los procedimientos en las distintas tareas clínicas, la inclusión y exclusión de casos y radiofísicos hospitalarios que deben velar por el estado de los equipos de rayos-X y la correcta determinación de los indicadores de dosis a los pacientes.

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

1. Se ha constatado que para una tarea clínica como puede ser una angiografía coronaria, distintos centros imparten dosis muy diferentes (un factor 5 en la mediana del producto dosis área).
2. Cuando se midió la tasa de dosis de los equipos de rayos-X en condiciones de referencia (20 cm PMMA) se encontraron diferencias de un factor 5, si bien no se apreció correlación entre las medianas de las dosis a los pacientes y las tasas de dosis de los equipos de rayos-X en condiciones de referencia.
3. Todo ello lleva a concluir que hay una importante tarea en la optimización de los procedimientos, comenzando por una normalización de los protocolos clínicos y siguiendo con una armonización en las características técnicas de los equipos.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Los valores de referencia propuestos son hasta momento los únicos publicados respaldados por la Sociedad Española de Cardiología. Es una guía para todos los profesionales que trabajamos en la optimización de los procedimientos de cardiología intervencionista.



## External Photon Radiation Treatment for Prostate Cancer: Uncomplicated and Cancer-Free Control Probability Assessment of 36 Plans

Sánchez-Nieto B, Romero-Expósito M, Terrón JA, Irazola L, García Hernández MT, Mateos JC, Roselló J, Planes D, Paiusco M, Sánchez-Doblado F  
 Phys Med 2019;66:88-96;DOI:10.1016/j.ejmp.2019.09.076.

### Beatriz Sánchez Nieto

Instituto de Física, Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago, Chile.  
 bsanchez@fis.puc.cl

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

Existe una variedad de técnicas de irradiación con fotones para el cáncer de próstata, que van desde la radioterapia (RT) conformada hasta la IMRT, tanto en fraccionamiento estándar como hipofraccionados. En cualquiera de los casos, todas las técnicas tienen asociada, en mayor o menor medida, una cierta probabilidad de inducción de un segundo cáncer primario. A pesar de ser poco frecuentes, estas segundas neoplasias pueden ser una consecuencia grave de la RT, especialmente cuando se trata a pacientes jóvenes. En este contexto, podría existir una tendencia a no usar fotones de alta energía ( $> 10$  MV), que podrían incrementar la inducción de estos segundos primarios como consecuencia de la dosis periférica asociada a la generación neutrónica. Un trabajo anterior de nuestro grupo (Phys Med 2017;47:35-41) había propuesto el uso de una nueva función radiobiológica (Uncomplicated and Cancer Free Control Probability –UCFCP) que incluyera no sólo la probabilidad de control tumoral (TCP) y de complicaciones (determinísticas) en el tejido sano (NTCP), sino, adicionalmente, la probabilidad de inducción de un segundo primario (SPCR). Se quiso entonces aplicar esta función para evaluar de forma relativa, la bondad (en términos de la UCFCP) de diferentes opciones de tratar con fotones un cáncer de próstata. La idea fue recurrir a las diversas técnicas existentes (CFRT, IMRT, VMAT, SBRT) usadas para irradiar con las tres marcas de aceleradores disponibles en el mercado, usando fotones de alta y baja energía. En total se analizaron 36 planes distintos, todos sobre la misma geometría (CT) con objeto de eliminar el sesgo del uso de una “anatomía” más favorable para un tratamiento.

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

Uno de los retos más importantes fue la de localizar centros de RT a lo largo de Europa donde pudieran realizar (sobre el mismo CT anonimizado) la totalidad de planes distintos que nos habíamos propuesto. Todos ellos recibieron la misma “instrucción” de realizar el mejor plan posible con la técnica correspondiente y una prescripción común de dosis. Al final coordinamos planes desde 11 centros distintos (en España, Italia, Rusia...). Una vez que contamos con los resultados de las planificaciones, tuvimos que aplicar de forma sistemática la metodología propuesta en nuestro trabajo anterior del 2017 (Phys Med 2017;47:35-41). Esto incluyó la estimación de dosis periférica de neutrones y fotones y el cálculo de riesgos de cáncer combinando el modelo no lineal de Schneider (Theor Biol Med Model 2011; 8:27) para la región de dosis intermedia (entre el 5% y el 50%), con el lineal sin umbral (BEIR VII) para zonas de muy baja dosis (i.e., fuera de la isodosis del 5%).

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

Hay varios resultados interesantes que podríamos destacar. Por ejemplo, encontrar que nuestros modelos y metodología de cálculo asociada generaron predicciones sobre probabilidad de cáncer secundario que eran consistentes con los resultados de estudios epidemiológicos sobre tratamientos de RT con fotones para cáncer de próstata. También resaltaríamos que los planes correspondientes a  $E > 10$  MV no implicaron en promedio una mayor probabilidad de cáncer secundarios o peor UCFCP. Lo anterior se debió, por un lado al “ahorro” de UM versus planes realizados con  $E < 10$  MV y por otro lado al menor NTCP, obtenido como consecuencia de una mejor conformación al blanco (i.e., NTCP's más bajos). Es más, entre los mejores planes, se encontraba uno realizado con IMRT (planificación directa) con alta energía (algo que, seguramente, a priori habría sido descartado). Como consecuencia, pensamos que no es posible afirmar qué técnica resulta óptima para RT en cáncer de próstata. En este sentido, la experiencia y habilidad del físico que realiza la planificación es fundamental a la hora de hacer uso optimizado de las UM.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Animar a los físicos a sacar el mejor partido posible a la técnica disponible en su centro y a desmitificar los tratamientos con IMRT a alta energía con respecto a su mayor probabilidad de inducir cáncer, asociado a los neutrones generados en el cabezal y/o en el propio paciente.



### Characterization of microMOSFET detectors for in vivo dosimetry in high-dose-rate brachytherapy with $^{192}\text{Ir}$

Ruiz-Arrebola S, Fabregat-Borrás R, Rodríguez E, Fernández-Montes M, Pérez-Macho M, Ferri M, García A, Cardenal J, Pacheco MT, Anchuelo J, Tornero-López AM, Prada PJ, Guirado D  
Med Phys 2020; DOI:10.1002/mp.14080.

#### Samuel Ruiz Arrebola

Servicio de Oncología Radioterápica y Radiofísica Hospitalaria, Hospital Universitario Marqués de Valdecilla. Av. Valdecilla, 25, 39008 Santander, Cantabria.  
samuel.ruiz.a@gmail.com

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

La necesidad de garantizar la calidad de los tratamientos de braquiterapia de alta tasa de dosis (HDRBT) con  $^{192}\text{Ir}$ , con especial atención a aquellos tratamientos con altas dosis por sesión, de hasta 24 Gy en un tratamiento de monoterapia, nos impulsaron a realizar este estudio. Instituciones internacionales como la IAEA y la ICRP, recomiendan la dosimetría *in vivo* para evaluar la calidad de estos tratamientos. Nuestro servicio cuenta con detectores mosfet, microMOSFET de Best Medical Canada, cuyas dimensiones permiten introducirlos en agujas de uso común en aplicaciones braquiterápicas. La principal motivación para realizar este estudio la encontramos en la posibilidad de mejorar la precisión de la medida con este tipo de detectores que presentan unas nada despreciables dependencias.

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

La caracterización de los microMOSFET exigió una gran cantidad de medidas experimentales y la construcción de varios maniqués específicos que nosotros mismos diseñamos. Analizamos la linealidad, reproducibilidad y variabilidad interdetector, así como la dependencia de la respuesta de los microMOSFET con la temperatura, la distancia fuente-detector y la orientación angular en cualquier plano del dispositivo de medida con respecto a la fuente. Un reto fue, sin duda, la obtención de un modelo matemático efectivo y relativamente simple que permitiese corregir las diferentes dependencias que estos detectores mostraron en determinadas condiciones de medición, y que además tuviese en cuenta el coeficiente de calibración de los propios detectores.

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

Los detectores presentan una linealidad excelente y una reproducibilidad razonable, menor del 3%, y, además de la dependencia nada despreciable con la temperatura y la distancia fuente-detector, presentan una gran dependencia angular, llegando al 10% en determinadas orientaciones fuente-detector. El modelo de corrección propuesto se aplicó a un grupo de medidas correspondientes a cinco tratamientos simulados de cáncer de próstata, en un maniqué de agua diseñado para tal fin. La aplicación del modelo de corrección permite pasar de una diferencia media del 3,8% entre las dosis absorbidas medidas y planificadas, cuando sólo se emplea la calibración de los detectores en las condiciones de referencia, a una diferencia media menor del 1%.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Se han medido unas importantes dependencias de respuesta de los detectores microMOSFET utilizados para la dosimetría *in vivo* en los tratamientos de HDRBT, y en base a la caracterización adecuada de estas dependencias se ha creado un modelo de corrección que aumenta la precisión de este sistema en aplicaciones clínicas. El

empleo del modelo permite evaluar la calidad de un tratamiento una vez terminado o incluso la evaluación de un tratamiento antes de ser totalmente dispensado, si evaluamos la medida de un 10% de la dosis total de la sesión, para posteriormente completar el tratamiento.



## A kernel-based algorithm for the spectral fluence of clinical proton beams to calculate dose-averaged LET and other dosimetric quantities of interest

Bertolet A, Cortés-Giraldo MA, Souris K, Carabe A  
Med Phys 2020; DOI:10.1002/mp.14108.

**Alejandro Bertolet Reina**

[alebertolet@gmail.com](mailto:alebertolet@gmail.com)

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

Este trabajo es parte de una serie de artículos basados en la idea de generar cálculos analíticos de *linear energy transfer* (LET) en protonterapia. Esta magnitud está directamente relacionada con la efectividad biológica relativa (RBE) de los haces de hadrones, es decir, en qué factor disminuye la dosis necesaria para alcanzar el mismo efecto que con haces fotónicos. Pese a que en la práctica clínica actual en protonterapia se asume que el RBE es independiente del valor de LET y se fija como 1.1, numerosos estudios preclínicos in vitro e in vivo muestran un incremento de RBE a medida que el LET crece.

Nuestro grupo de la Universidad de Pennsylvania, en colaboración con el grupo de Miguel Cortés, de la Universidad de Sevilla, decidió apostar por la microdosimetría como metodología para obtener cálculos de LET. Así, primero modelamos las deposiciones de dosis de protones monoenergéticos en volúmenes microscópicos mediante simulaciones con Geant4-DNA (Bertolet et al, Med Phys 2019;46(9):4184-92 y Bertolet et al, Med Phys 2019;46(9):4204-14). Este trabajo complementa a aquellos, desarrollando un kernel de fluencia espectral para haces de protones, que, al integrarse junto a las funciones microdosimétricas, permite el cálculo de LET y otras magnitudes de interés.

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

A diferencia de los *kernels* tradicionales basados en magnitudes aditivas (por ejemplo: dosis, fluencia, señal recibida o actividad), nuestro *kernel* de fluencia espectral tiene como objetivo calcular espectros correspondientes a la superposición de *beamlets* con diferentes coordenadas espaciales y energías iniciales. Para ello, es necesario modelar funciones, para diferentes energías, profundidades y posiciones laterales, que representen el espectro energético de diferentes componentes de haz de protones (primarios, secundarios y otras partículas secundarias generadas en colisiones inelásticas). Nuestro método usa funciones Gaussianas para ello, ponderando valores medios y desviaciones estándar de las funciones correspondientes a cada beamlet, para cada energía, profundidad y desplazamiento lateral. Todo ello supone un aparato matemático complejo y novedoso, pero implementable analíticamente en un sistema de planificación de tratamientos (TPS).

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

Este algoritmo nos permite el cálculo simultáneo de varias magnitudes, tantas como cuya respuesta sea posible modelar en términos de energía cinética de las partículas involucradas. Así, hemos publicado los resultados en cálculo de dosis (Bertolet et al, Med Phys 2019;46(12):5816-23), LET y su equivalente microdosimétrico, lineal energy (Bertolet et al, Phys Med Biol 2020;DOI:10.1088/1361-6560/ab730a), comparándolos con resultados obtenidos de simulaciones Monte Carlo.

### ¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Nuestro proyecto está financiado por Varian Medical Systems y hemos integrado toda esta metodología en Eclipse como un script. Este script se ha distribuido por decenas de instituciones en Europa y Estados Unidos hasta ahora, con el objetivo de aunar esfuerzos en la investigación del impacto de las distribuciones de LET en los resultados clínicos de pacientes tratados con protonterapia.

# Colección FUNDAMENTOS DE FÍSICA MÉDICA

¡YA ESTÁ COMPLETA!

## Objetivos de la colección:

01

Cubrir gran parte del programa teórico de formación de la especialidad, lide RFH.

02

Uniformizar los conocimientos teóricos de base para todos los especialistas en formación.

03

Armonizar el léxico y la terminología en el ámbito de la Física Médica.



En su conjunto, los diez libros van dirigidos a especialistas en formación en la especialidad de RFH, (fundamentalmente los residentes de primero y segundo año de la especialidad), así como a titulados superiores que quieran adquirir o mejorar sus conocimientos en el área de la Física Médica.

Por medio de esta colección, se pretende además, difundir el contenido de nuestros cursos entre todos los profesionales de la Física Médica de habla hispana que deseen acercarse a nuestros textos y tener a su disposición un libro de consulta en español.

[www.auladoc.com](http://www.auladoc.com)

Información y pedidos en:



+34 5428282



[info@auladoc.com](mailto:info@auladoc.com)



Madrid