



Revisión de Artículos

Francisco Clemente*

Comité de Redacción.

Estimados compañeros,

En esta nueva entrega de la sección de Revisión de artículos, tengo el placer de presentaros una selección de cinco trabajos recientes, en esta ocasión, todos publicados en la *European Journal of Medical Physics (Physica Medica)*, de notable interés en distintas áreas. Como siempre, agradezco sinceramente la colaboración de los compañeros que, de forma desinteresada, contribuyen con sus revisiones a enriquecer esta sección y mantenerla como un espacio de referencia para la actualización científica en física médica.

En el ámbito de radioterapia, se incluyen tres artículos de gran relevancia. En primer lugar, el trabajo de Laura Oliver presenta una visión general sobre la situación actual de las auditorías dosimétricas en braquiterapia de alta tasa de dosis en Europa, destacando tendencias y oportunidades de mejora en la garantía de calidad. A continuación, María Lizondo nos ofrece un análisis de diferentes materiales flexibles obtenidos por impresión 3D para su uso como bolus clínicos, con especial atención a sus propiedades físicas y dosimétricas. Finalmente, Sandra Williamson propone umbrales de trabajo en dosimetría in vivo basada en EPIGray, apoyándose en un estudio clínico estratificado por regiones anatómicas. En el campo de la medicina nuclear, el artículo de Jorge Roser presenta el uso de la cámara Compton MACACO III para la obtención de imágenes tanto en maniqués como en pacientes, mostrando el potencial de esta tecnología en la detección de radiofármacos y su aplicabilidad clínica. Por último, en el área de radiodiagnóstico, se incluye el trabajo de Rafael Lozano, que demuestra la viabilidad del uso de la plataforma GAMOS para la simulación de imágenes mamográficas de forma realista.

Como siempre, es un placer compartir con vosotros esta selección de contribuciones que reflejan la vitalidad y diversidad de la investigación en física médica. Agradezco de nuevo a los autores su esfuerzo y dedicación, sin los cuales esta sección no sería posible.

Un cordial saludo.

* Correspondencia: pclementegutierrez@gmail.com



Dosimetry audits in high dose rate brachytherapy: A survey on the current scenario in Europe

Oliver-Cañamás L, Vijande J, Candela-Juan C, Perez-Calatayud J
Phys Med 2025;136:105047. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.105047

Laura Oliver Cañamás

Servei de Radiofísica i Protecció Radiològica, Consorci Hospitalari Provincial de Castelló (CHPC), 12002 Castelló de la Plana, Spain.

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La radioterapia externa cuenta con redes de auditorías dosimétricas consolidadas a nivel internacional y, en algunos países europeos, también con programas nacionales. Sin embargo, en braquiterapia de alta tasa la oferta sigue siendo muy escasa. El hecho de que la dosis absorbida por sesión en estos tratamientos sea alta (entre 3 y 20 Gy) acentúa la necesidad de contar con este tipo de servicios. El objetivo principal de este estudio fue poner de manifiesto esta carencia. Además, se aprovechó la encuesta para recoger la opinión de los usuarios acerca de las características que debería reunir una auditoría en braquiterapia de alta tasa, de modo que los resultados pudieran servir como base para el diseño de futuras iniciativas en este campo.

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

El reto más importante fue conseguir un número suficiente de respuestas y lograr una participación representativa a nivel europeo. Para ello resultó esencial la difusión a través de las redes de los fabricantes, listas de distribución y sociedades profesionales como la SEFM, que dieron visibilidad al cuestionario. La encuesta se diseñó para ser respondida en menos de 15 minutos, con el fin de facilitar la participación y reducir la carga de trabajo de los profesionales.

Otra dificultad fue no conocer el número total de centros a los que llegó la encuesta, lo que impidió calcular una tasa de respuesta formal. Aun así, el número de respuestas obtenidas puede considerarse suficientemente amplio como para identificar tendencias claras y aportar una visión realista de la situación actual.

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

Respondieron a la encuesta 74 centros europeos, en su mayoría representados por radiofísicos/as hospitalarios/as. El 95% utilizaba fuentes de ¹⁹²Ir, mientras que solo un 3 % declaró usar ⁶⁰Co y otro 3% fuentes electrónicas.

En cuanto a la percepción sobre las auditorías, un 61% consideró que deberían recomendarse, pero no ser obligatorias, mientras que un 35% opinó que deberían ser necesarias y de carácter obligatorio. Sólo un 4 % pensó que no son necesarias. Sin embargo, únicamente un 14% había tenido acceso a alguna, casi siempre en el marco de iniciativas piloto o proyectos de investigación, y no a través de programas consolidados. En contraste, un 86% coincidió en que la oferta actual es insuficiente y que se requieren más servicios de ámbito nacional o internacional. De forma muy significativa, el 99% de los centros declaró que participaría en una auditoría de braquiterapia de alta tasa si tuviera la oportunidad.

En cuanto a las características deseadas, la encuesta permitió recoger la opinión de los usuarios sobre los aspectos que debería cubrir una auditoría en braquiterapia de alta tasa, aportando información útil para el diseño de programas futuros.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Este trabajo pone en evidencia la brecha entre la percepción general de la comunidad clínica sobre la necesidad de auditorías y la disponibilidad real de estos servicios en Europa. La encuesta no sólo confirma una demanda clara, sino que también ofrece criterios técnicos y operativos que pueden orientar el diseño de auditorías futuras. Desde una perspectiva estratégica, el estudio refuerza la urgencia de recomendaciones más firmes por parte de organizaciones y sociedades profesionales para que estas auditorías se incorporen como un elemento estándar de garantía de calidad en braquiterapia de alta tasa.



Comparative study of flexible 3D printing materials for clinical application as boluses in radiotherapy

Lizondo M, Lorenzo Á, Adell-Gómez N, Navarro D, Colomer M, Ambroa E et al. *Phys Med* 2025;134:104987. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104987

María Lizondo Gisbert

Physics Unit, Consorci Sanitari Terrassa, Ctra. de Torrebonica s/n, 08227 Terrassa, Spain.

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

Como ocurre con la mayoría de los proyectos de investigación, la idea surgió a partir de una necesidad observada en la práctica clínica diaria. Inicialmente, comenzamos a utilizar bolus personalizados impresos en 3D con material rígido (PLA), ya que los bolus comerciales de gel no se adaptaban correctamente al contorno de las mamas. Esta primera solución ofrecía una mejora evidente respecto a los productos disponibles en el mercado. Sin embargo, detectamos una limitación: en algunas pacientes que desarrollaban inflamación durante el tratamiento, el bolus rígido dejaba de ajustarse adecuadamente.

De ahí surgió la pregunta: ¿sería posible fabricar bolus personalizados en 3D con materiales flexibles, compatibles con el contacto directo con la piel y con propiedades físicas adecuadas para su función? Al revisar la literatura, encontramos que no había resultados concluyentes sobre qué material flexible resultaba más idóneo. Esto nos motivó a diseñar un estudio comparativo de distintos materiales flexibles de impresión 3D para su uso en radioterapia.

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

El desafío más importante fue obtener financiación. Aunque la colaboración con la Unidad de Impresión 3D del Hospital Sant Joan de Déu (Barcelona) permitió reducir costes (solo abonamos los materiales), esa partida económica ya suponía una cifra considerable. Comparado con ello, las demás dificultades (encontrar tiempo para las mediciones, analizar resultados y preparar la publicación) fueron secundarias.

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

En el estudio diseñamos un maniquí con forma de mama, sobre el cual generamos un bolus virtual en el software de planificación. Ese diseño se imprimió en 3D en diferentes materiales y se probó en el maniquí, midiendo el volumen de aire entre ambos. Posteriormente, simulamos un cambio de volumen (como el que produciría la inflamación durante el tratamiento) y repetimos las pruebas. Observamos que los bolus fabricados con silicona mediante moldes, es decir, imprimiendo el molde en 3D y rellenándolo con silicona, fueron los que mejor se adaptaron a las variaciones de forma.

Además, realizamos pruebas adicionales: estudios dosimétricos, análisis de propiedades físicas mediante TC y evaluación de la precisión de impresión, entre otras. En la mayoría de los materiales analizados, los resultados fueron satisfactorios y cumplieron con las características requeridas.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Creemos que nuestro estudio aporta un valor diferencial, ya que incluye la comparación de 12 materiales diferentes para impresión 3D de bolus en radioterapia. En la mayoría de publicaciones previas la comparación se limita a un material flexible frente a uno rígido (como PLA o ABS), mientras que nuestro trabajo ofrece una visión más completa: tiempos de impresión, densidades, costes y otras especificaciones técnicas, todo reunido en tablas comparativas.

En el ámbito clínico, disponer de información fiable y comparativa es una herramienta poderosa. Nuestro objetivo es que este trabajo sirva como referencia para equipos que deseen incorporar la impresión 3D con materiales flexibles en la fabricación de bolus personalizados para radioterapia, facilitando todas las características para que la elección del material biocompatible sea el que mejor se adapte a las necesidades específicas de cada centro o paciente.



Working thresholds for in-vivo dosimetry in EPIgray based on a clinical, anatomically-stratified study

Williamson Puente S, Cámara Gallego M, Sevillano Martínez D, Colmenares Fernández R, García Fuentes JD, Capuz Suárez AB et al.
Phys Med 2025;131:104933. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104933

Sandra Williamson Puente

Medical Physics Department, Hospital Universitario Ramón y Cajal, IRyCIS, Madrid, Spain.

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La motivación surgió ante la necesidad de disponer de intervalos de tolerancia con los que trabajar en la dosimetría in vivo y de comprender el origen de las diferencias dosimétricas que reporta el sistema. Estos niveles de tolerancia están influenciados por diversos factores, como las diferencias en el cálculo de dosis entre el modelo de Dosisoft y el del planificador, así como por variaciones en la posición del paciente, cambios anatómicos, movimiento de órganos o modificaciones en el tamaño tumoral.

Contar con estos intervalos permite determinar si las discrepancias observadas se encuentran dentro de la variabilidad esperable o si, por el contrario, pueden tener relevancia clínica.

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

El principal reto fue afrontar el análisis de las más de 5.700 fracciones de tratamiento registradas por EPIgray. Cada fracción genera una imagen en el EPID, y antes de iniciar el análisis estadístico fue necesario revisar su validez.

El sistema de Dosisoft informa en el módulo de EPIgray Web si se han producido interrupciones durante la adquisición, pero no identifica de forma automática otros problemas, como una posición incorrecta del panel, causada por una expansión incompleta desde su posición plegada.

Estos casos tuvieron que comprobarse manualmente en el módulo EPIgray Expert, que permite visualizar la imagen capturada y determinar si la adquisición fue válida. Esta revisión individualizada impidió automatizar completamente el proceso y convirtió la depuración de datos en una fase especialmente laboriosa.

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

Aunque el estudio permitió establecer intervalos de tolerancia específicos para cada patología, puso de manifiesto la importancia de realizar el análisis atendiendo principalmente a la región anatómica tratada. Por ejemplo, se observó que la variabilidad en las diferencias de dosis registradas para el sistema digestivo es mayor que en otras patologías, dado que el cálculo dosimétrico depende en gran medida de la zona anatómica en la que se encuentra la lesión, debido a las diferencias en la densidad de los tejidos circundantes. Asimismo, se constató la dificultad del algoritmo de EPIgray para calcular la deposición de dosis en medios de baja densidad, como el aire, lo que explica que las diferencias de dosis obtenidas en tratamientos de pulmón sean generalmente más elevadas.

Por otro lado, se identificaron derivas temporales en la dosis medida a lo largo del tratamiento en tumores de cabeza y cuello, y en algunos casos de pulmón. Estas variaciones se relacionaron con cambios anatómicos, como la reducción del volumen tumoral, que no siempre son evidentes en las imágenes diarias de CBCT. La detección de estas derivas podría constituir una herramienta útil para monitorizar la evolución del paciente y valorar la necesidad de implementar estrategias de radioterapia adaptativa.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El trabajo presenta un flujo de trabajo práctico y reproducible para la implementación y el uso de la dosimetría in vivo con EPIgray, y establece un protocolo de actuación ante la detección de una sesión fuera de tolerancia, los cuales pueden ser adoptados por otros servicios de radiofísica.



Radiopharmaceutical imaging of phantoms and patients with MACACO III Compton camera

Roser J, Barrientos L, Bello P, Borja-Lloret M, Calatayud JM, Casaña JV et al. *Phys Med* 2025;132:104928. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104928

Jorge Roser Martínez

Instituto de Física Corpuscular (IFIC), CSIC-UV, Valencia, Spain.

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

En medicina nuclear, las imágenes de radiofármacos con fines diagnósticos y de seguimiento del tratamiento se adquieren mediante cámaras gamma. El rendimiento de estos detectores es limitado con radiofármacos que emiten fotones de energía relativamente alta (por ejemplo ^{131}I -NaI, usado para el tratamiento del cáncer de tiroides), lo cual se debe principalmente a la necesidad de usar colimadores adaptados a estas energías. En este contexto, las cámaras Compton se presentan como una alternativa prometedora, ya que son detectores compactos que no necesitan colimadores y cuyo rendimiento de hecho mejora a medida que la energía de los rayos gamma aumenta. En el grupo IRIS del IFIC (Valencia) hemos desarrollado MACACO, una cámara Compton para imagen médica; mediante este estudio hemos querido demostrar la capacidad de este detector para obtener imágenes de ^{131}I -NaI y compararlo con las imágenes que obtendría una cámara gamma convencional.

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

Para realizar este trabajo hemos colaborado con el hospital La Fe (Valencia), lo cual nos ha permitido obtener medidas con ^{131}I -NaI tanto en fantasmas como en pacientes. Sin duda la integración de MACACO en un entorno clínico ha supuesto un reto, que hemos solventado con la ayuda de los magníficos profesionales en La Fe. Otro reto fue el trabajo previo de preparación, que involucró numerosas simulaciones y pruebas en el laboratorio, ya que hasta este momento el detector había sido optimizado para detección de rayos gamma de energía muy alta para verificación del rango en terapia de hadrones, que presenta unas condiciones muy diferentes a las de este estudio.

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

Hemos demostrado que MACACO es capaz de resolver estructuras cilíndricas de hasta 4 mm de diámetro en fantasmas de tipo Derenzo con ^{18}F -FDG, mientras que con ^{131}I -NaI, hemos demostrado que nuestra cámara Compton mejora claramente la resolución espacial de las imágenes en comparación con la cámara gamma del hospital, la cual sufre artefactos relacionados con el colimador. Finalmente, hemos sido capaces de obtener una imagen consistente de un paciente con una lesión metastásica tras la extirpación de la glándula tiroides.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

Este estudio demuestra por primera vez la capacidad de la cámara Compton desarrollada por el grupo IRIS para obtener imágenes de radiofármacos, y se añade a una serie de estudios recientes hechos por grupos de investigación internacionales que evidencian el potencial de estos detectores como método de imagen complementario a las cámaras gamma. Esto es especialmente relevante debido a la creciente demanda de detectores optimizados para rayos gamma de energía relativamente alta, incluyendo aplicaciones novedosas como terapia con partículas alfa o teranóstica.



Simulation of digital mammographic images using GAMOS: Proof of concept

Lozano FR, Sanchez-Lara V, Huerga C, Martinez-Gomez LC, Garcia-Pinto D
Phys Med 2025;135:104995. doi: 10.1016/j.ejmp.2025.104995

Francisco Rafael Lozano

Universidad Complutense de Madrid, Madrid, 28040, Spain.

¿Cuál ha sido la motivación para empezar este estudio?

La mamografía es una técnica muy extendida y cualquier mejora tiene impacto directo en calidad de imagen y dosis. Sin embargo, probar cambios en equipos reales es costoso y lento. Por eso planteamos un “banco de pruebas virtual”: usar simulaciones Monte Carlo (GAMOS/GEANT4) para recrear la generación de la imagen y estimar la dosis sin irradiar pacientes. La idea era demostrar que este enfoque puede proporcionar imágenes realistas y útiles para ensayos clínicos virtuales, control de calidad y desarrollo de algoritmos.

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

La traducción del sistema clínico al ámbito virtual implica la representación del haz de rayos X, la compresión torácica, la dispersión y, fundamentalmente, el detector. Se desarrollaron dos modelos para simular la respuesta del detector: una más sencilla, basada en el número de fotones incidentes y la eficiencia, y otra más realista, centrada en la deposición de energía dentro del material. Adicionalmente, fue necesario llegar a un equilibrio entre el realismo y el tiempo de ejecución y validar la coherencia física de los resultados obtenidos.

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

El estudio valida la plausibilidad anatómica de las simulaciones de mamografías, confirmando que la textura y el ruido se asemejan a los observados en mamografías clínicas. Se encontró una buena concordancia entre los modelos de detector y los sistemas reales en términos de NPS y MTF, replicando las tendencias y diferencias esperadas entre distintas configuraciones de detector. En resumen, el sistema produce imágenes y texturas realistas, y los modelos de detector son consistentes con los sistemas reales. Además, las estimaciones de dosis, incluyendo la dosis glandular media (MGD), son coherentes con lo publicado en la literatura, lo que refuerza la solidez física del enfoque.

¿Cuáles son las repercusiones del estudio?

El resultado principal es una herramienta capaz de simular imágenes mamográficas de forma muy realista, respaldada por la física de GEANT4 a través de GAMOS. Esto la convierte en un recurso valioso para la comunidad: otros grupos lo pueden emplear para estudiar nuevos fenómenos de formación de imagen y para generar conjuntos de datos sintéticos con ground truth controlado. Con la potencia de cálculo adecuada, estas imágenes pueden alimentar y evaluar modelos de aprendizaje automático o profundo (ML/DL), abriendo líneas que son difíciles de abordar solo con datos clínicos.



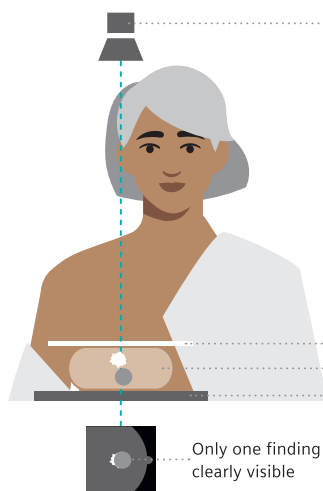
Breast Care. Early detection is key.

Unfortunately, breast cancer is still the most common cancer in women. However, detection and treatment methods are constantly improving, and with them the chances of recovery. The earlier the first tissue changes are discovered, the better the chances for a successful treatment.

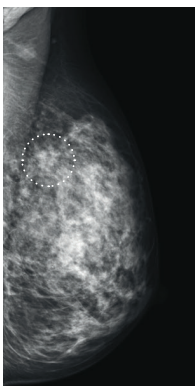
The latest state-of-the-art technologies are united in our new MAMMOMAT Revelation. It enables the standard 2D breast scans as well as 3D imaging of the breast using tomosynthesis technology.

Breast care. Because we care.

2D mammography

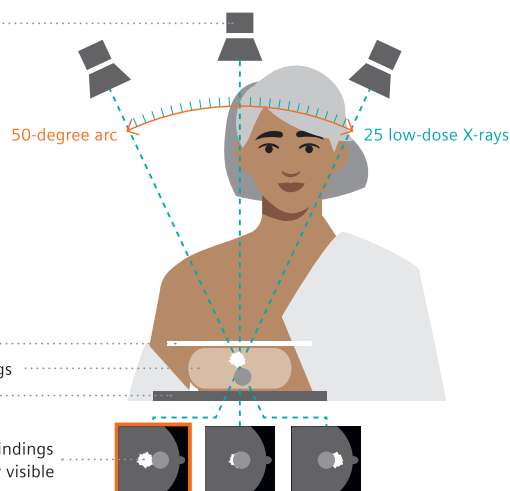


In 2D mammography, an X-ray image of the breast is taken. The breast is first compressed between two plates to spread the tissue apart. This results in a better picture and allows less radiation to be used. Our mammography system MAMMOMAT Revelation enables us to use a low radiation dose for the mammogram.

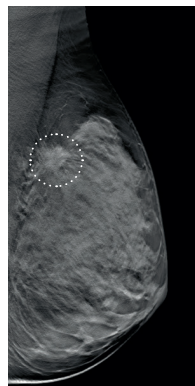


Finding is hard to see on 2D mammography scan

3D mammography/tomosynthesis



When a tomosynthesis scan is performed, 25 low-dose images are taken while the X-ray tube rotates in a 50-degree arc around the compressed breast, resulting in multiple images. These digital images are then reconstructed by a computer into a three-dimensional image set. This allows your physician to see the breast tissues more clearly in three dimensions and makes detection more accurate.*



Finding is clearly visible on tomosynthesis scan

Courtesy of Dr. Wayne Lemish, MIA Radiology, Melbourne, Australia; 1aaa025

MAMMOMAT Revelation is not commercially available in all countries. Its future availability cannot be guaranteed.
*Compared to 2D mammography (FFDM). Siemens complies with all current regulations for medical devices and in vitro medical devices.
Medical device for use by healthcare professionals only. This information is intended only for use by healthcare professionals only.