

ISSN 1576-6632

revista de

FÍSICA MÉDICA

num.

2

vol.

26

año

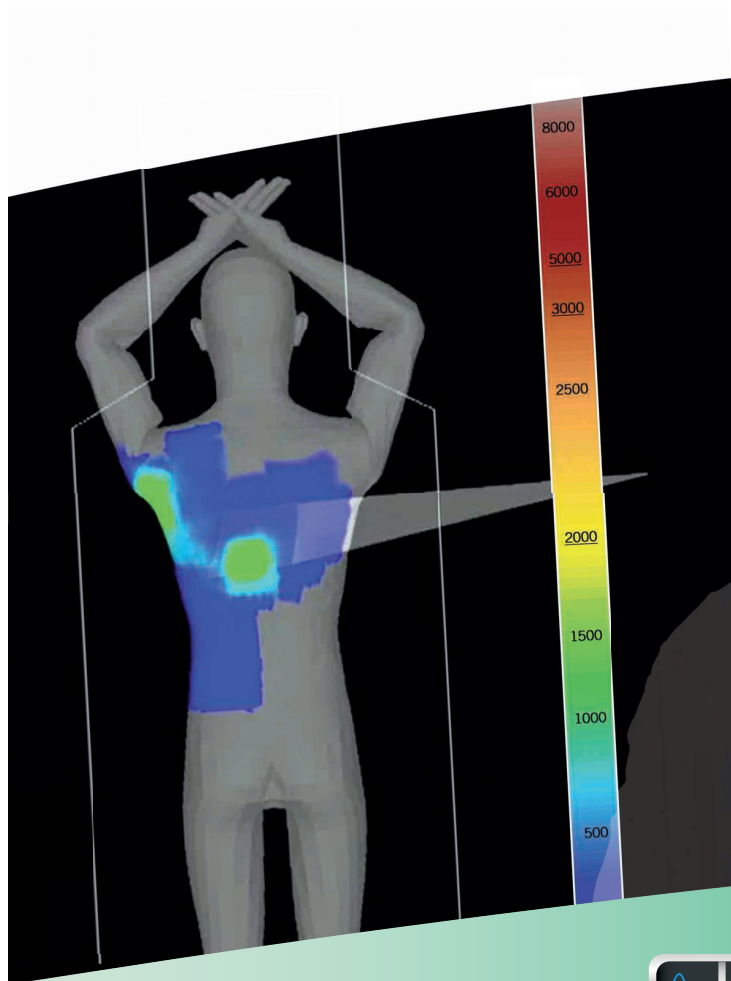
2025

publicación oficial de la sefm
bajo el auspicio de la efomp



SEFM

SOCIEDAD
ESPAÑOLA DE
FÍSICA MÉDICA



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[™]



www.revistadefisicamedica.es

Director

Julio Almansa López
Hospital Universitario Virgen de las Nieves. Granada

Editora

María Asunción Ruiz López
Hospital Universitario Virgen de la Victoria. Málaga

Editores asociados

Diego García Pinto
Universidad Complutense de Madrid. Madrid

Rodolfo Alfonso Laguardia
Universidad de La Habana-InSTEC. Ciudad de La Habana

Silvia Fernández Cerezo
Hospital Universitario Central de Asturias. Oviedo

Rafael Guerrero Alcalde
Hospital Universitario San Cecilio. Granada

Leticia Irazola Rosales
Centro de Investigación Biomédica de La Rioja. Fundación RiojaSalud. Logroño

Carlos Huerga Cabrerizo
Hospital Universitario la Paz. Madrid

Irene Hernández Girón
University College Dublin (UCD), School of Physics. Dublin

Sergio Panzuela López
Hospital Universitario Donosti. San Sebastián

Francisco Clemente Gutiérrez
Complejo Hospitalario de Toledo. Toledo

Vocal de la SEFM

Irene Torres Espallardo
Hospital Universitario y Politécnico La Fe. Valencia

Comisión científica

Antonio González López
Hospital Clínico Universitario Virgen de la Arrixaca. Murcia

Edita:



Periodicidad de publicación: Semestral (mayo y noviembre)

D Legal: M-28926-2000. ISSN 1576-6632.

Copyright de los textos originales 2025. Reservados todos los derechos. Ninguna parte de esta publicación puede ser reproducida, transmitida en ninguna forma o medio alguno, electrónico o mecánico, incluyendo fotocopias, grabaciones o cualquier sistema de recuperación de almacenaje de información, sin la autorización por escrito de los titulares del Copyright.

Dirección de correo electrónico de la revista: revistafisicamedica@crein.com

Sociedad Española de Física Médica
Cami Vell d'Albal, 127
46469 Beniparrell (Valencia)
Tel. 960 11 06 54
e-mail: secretaria@sefm.es



Junta Directiva de la SEFM

Presidente

Maruxa Pérez Fernández

Vicepresidente

Francisco Clemente Gutiérrez

Tesorera

Eva Ambroa Rey

Secretario

Eduardo Cabello Murillo

Vocales

Eduardo Pardo Pérez

Rafael Ayala Lázaro

Carmen Ruiz Morales

Irene Torres Espallardo

Comisión de Deontología y Asuntos Institucionales

Presidente

José Manuel de la Vega
Fernández

comisionedeontologica@sefm.es

Bonifacio Tobarra González
Feliciano García Vicente
José Luis Carrasco Rodríguez
José Antonio Miñano Herrero
Françoise Lliso Valverde

Comisión Científica

Presidente

Antonio Francisco González López
comisioncientifica@sefm.es

Ana Mª Tornero López
María Amor Duch Guillen
Oliver Díaz Montesdeoca
Daniel Zucca Aparicio
Diego Miguel Gonzalez Castaño
Pablo Mínguez Gabiña
Yolanda Prezado
Alejandro Mazal
Cristian Candela Juan
Irene Torres Espallardo
Víctor Hernández Masgrau
Verónica Morán Velasco
Consultores:
Antonio Brosed Serreta
José Pérez Calatayud
Facundo Ballester Pallarés

Comisión de Docencia

Presidente

Jaime Pérez Alija
comisiondocencia@sefm.es

Rafael Ayala Lázaro
Antonio Herreros Martínez
Carlos Huerga Cabrerizo
Diego García Pinto
Jesús García Ovejero
Javier Jiménez Albericio
Laura Bragado Álvarez
Ana García Sanz

Comisión de Seguridad del Paciente

Presidenta

Mercè Beltrán Vilagrasa
seguridaddelpaciente@sefm.es

Agustín Santos Serra
Núria Jornet Sala
Cristina Moreno Saiz
María Pinto Monedero
Carlos Prieto Martín
Mª José Rot San Juan
Pablo Saldaña Gutiérrez

Representantes

Comisión de Seguimiento del Acuerdo Marco
SEFM/SERAM

Maruxa Pérez Fernández
Andrei Cristian Marin Ciocan

Paula García Castañón

Comisión de Seguimiento del Acuerdo Marco
SEFM/SEGRA

Agustín Santos Serra
Naia Pereda Barroeta

Maruxa Pérez Fernández

Comisión de Seguimiento del Acuerdo Marco
SEOR/SEFM

Carles Muñoz Montplet
Damián Guirado Llorente

Agustín Santos Serra

Servicio de la SEFM para el respaldo de cursos
de acreditaciones y licencias

Xavier Pifarré Martínez

Representantes

Representante en el Colegio Oficial de Físicos	Carmen Ruiz Morales	
Foro CSN/SEPR/SEFM	Agustín Santos Serra Teresa García Martínez	Mercè Beltrán Vilagrasa
Representante en la UNE	Raquel Barquero Sanz Oliver Díaz Montesdeoca	Daniel Fernández Molina
Representantes en la EFOMP	Jesús García Ovejero Iván Escobar Corominas	Nuria Carrasco Vela
Representantes en la ESTRO	Celestino Rodríguez Cobo	David Sevillano Martínez
Representantes de la IOMP	Eduardo Pardo Pérez Víctor Hernández Masgrau	Maruxa Pérez Fernández
Representante de la SEFM en EBAMP	Montserrat Ribas Morales	
Representante en IHE	Julio Almansa López	
Comité de Asuntos Internacionales	Eduardo Pardo Pérez Evangelina Martínez Montserrat Carles Fariña	Enric Fernandez-Velilla Ceprià Leticia Irazola Rosales
Representante en la Comisión Nacional de Radio-física Hospitalaria	Francisco Clemente Gutiérrez	



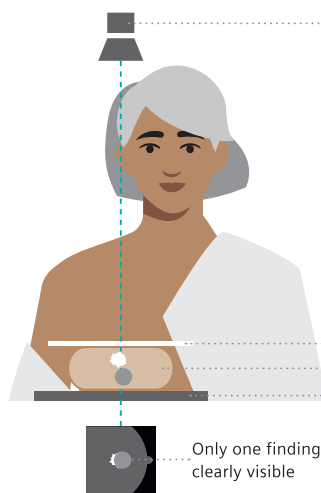
Breast Care. Early detection is key.

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.

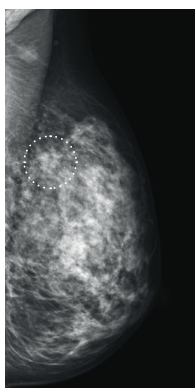
The latest state-of-the-art technologies are united in our new MAMMOMAT Revelation. It enables the standard 2D breast scans as well as 3D imaging of the breast using tomosynthesis technology.

Breast care. Because we care.

2D mammography

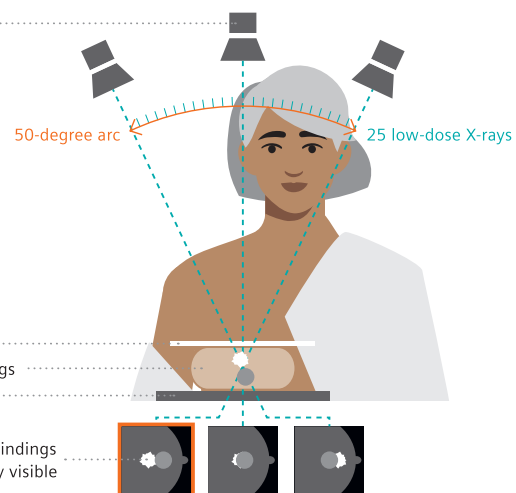


In 2D mammography, an X-ray image of the breast is taken. The breast is first compressed between two plates to spread the tissue apart. This results in a better picture and allows less radiation to be used. Our mammography system MAMMOMAT Revelation enables us to use a low radiation dose for the mammogram.

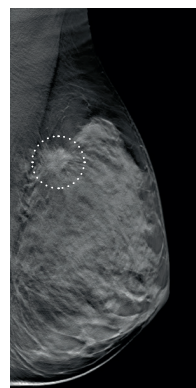


Finding is hard to see on 2D mammography scan

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.

Grupos de trabajo SEFM

1. Revisión del plan y de los registros de tratamiento en radioterapia

Coordinadora	María Pinto Monedero	Cristina Moreno Saiz
Miembros	Cristina Bosó Martínez Carmen Ruiz Morales Cristina Mínguez Aguilar	Sandra Suárez Gómez Cristina Ansón Marcos Silvia Gutiérrez Ramos

2. Evaluación del residente de radiofísica hospitalaria

Coordinadora	Ana María Tornero López	
Miembros	Sheila Calvo Carrillo Damián Guirado Llorente Sandra Williamson	David Hernández María Jesús García Hernández

3. Medios Humanos en Radiofísica Hospitalaria

Coordinador	José Antonio Terrón León	
Miembros	Carles Muñoz Montplet Pablo Mínguez Gabiña Álvaro A. Fernández Lara	Josep M. Martí Climent Rafael Guerrero Alcalde

4. Funciones de los técnicos superiores en el área de Física Médica

Coordinadores	Julio Luis Martínez Valdivia	Isabel Palazón Cano
Miembros	Luis Alejo Luque Rubén Abella Cereigido Sheila Ruiz Maqueda Alberto Marín Caba	Eduardo Bardaji Bertomeu Vanesa Vázquez Camello Álvaro Soza Marañón

5. Pruebas de aceptación de equipos de diagnóstico por la imagen (en colaboración con: FENIN, SEPR, SERAM)

Miembros (por parte de la SEFM)	José Luis Carrasco Juan Miguel Becerro Carlos Montes Fuentes	Javier Lupiani Castellanos Pablo Echegoyen Ruiz
--	--	--

6. Interrupción de tratamientos (en colaboración con: SEOR)

Miembros (por parte de la SEFM)	Gustavo Pozo Rodríguez	José Manuel de la Vega Fernández
--	------------------------	----------------------------------

7. Aplicación del modelo lineal-cuadrático en la combinación de radioterapia e hipertermia (en colaboración con: SEOR)

Miembros (por parte de la SEFM)	Félix Navarro Guirado	Rafael Guerrero Alcalde
--	-----------------------	-------------------------

8. Revisión del protocolo español de control de calidad en radiodiagnóstico (en colaboración con: SEPR, SERAM)

Coordinadora	María Luisa Chapel Gómez	
Secretario	José Manuel Ordiales Solís	
Miembros	Manuel Buades Forner Santiago Miquélez Alonso Francisco Javier Rosales Espizua Jorge Hernández Rodríguez	Daniel Fernández Molina Xavier Pifarré Martínez Julio Almansa López Jose Ángel Merino Gestoso

9. Comisión mixta seor-sefm para la elaboración de recomendaciones sobre la implementación de la protonterapia en España

Miembros	Juan Diego Azcona Armendáriz Antonio Gómez Caamaño Luis Alberto Pérez Romasanta M ^a Carmen Rubio Rodríguez	Jorge Contreras Martínez Daniel Alejandro Mazal Yolanda Prezado Alonso Samuel Ruiz Arrebola
-----------------	--	--

10. Dosimetría en Radiología Intervencionista (en colaboración con SEPR)

Coordinadores	María Amor Duch Guillén	Roberto Sánchez Casanueva
Miembros	Marta Barceló Pagès Maruxa Pérez Fernández José M. Ordiales Solís Antonio Gañán Mora	Manuel F. Rodríguez Castillo Luis Alejo Luque Eva Corredoira Silva

11. Comité de seguimiento del acuerdo marco SEFM-SERFA

Miembros	Rocío Ramos Membrive Isabel Gil Viciano Sandra Maymó Garrido	Verónica Morán Velasco Agustín Santos Serra Pablo Saldaña Gutiérrez
-----------------	--	---

12. Dosimetría en vivo de tránsito

Coordinadoras	Cristina Ansón Marcos	Clara Navarro Ibarra
Miembros	David Sánchez Artuñedo Fernando Mañeru Cámara María Dolores Herraiz Lablanca	Gaspar Sánchez Merino Elena González González María Carrasco Herrera

13. El papel de la radiofísica hospitalaria ante el reto de la inteligencia artificial

Coordinador	Jaime Martí Asenjo	
Miembros	Francisco Rafael Lozano Martínez Montserrat Carles Fariña Sofía García Repiso	Daniel Prieto Moran Pedro Gallego Franco Tristán Suárez Baraza

14. Grupo de tumores ginecológicos de la SEOR (GINECOR)

Miembros (por parte de la SEFM)	Natalia Tejedor Aguilar Fernando Cerrón Campoó	Clara Navarro Ibarra Francisco Pino Sorroche
--	---	---

15. Foro sobre protección radiológica en el medio sanitario

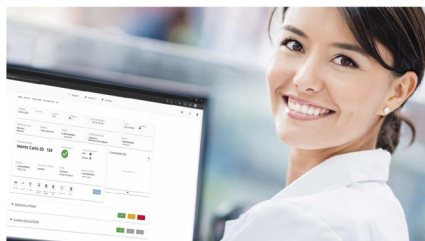
Miembros (por parte de la SEFM)	José Manuel Álvarez Pérez Julia Muñoz Blasco Jordi Llasana Arnalot María Luisa Chapel Gómez Pablo Mínguez Gabiña Ana Millán Armengol	Francisco Clemente Gutiérrez Florencio Javier Luis Simón Víctor Raposo Furelos Eduardo Pardo Pérez David Reinado Martínez Julio Almansa López
--	---	--



Índice

Editorial	9
Artículos científicos	
Comparación de técnicas de planificación en radioterapia para cáncer de mama: Un estudio multicéntrico en unidades docentes de radiofísica hospitalaria <i>Rafael Ayala Lázaro et al.</i>	11
Cálculo del periodo de restricciones tras el alta radiológica de pacientes sometidos a terapia metabólica con [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617 <i>Isabel Gayol Vilorio et al.</i>	27
Fe de erratas	37
Revisión de artículos	39

VERIQA - The Modular Software Platform For comprehensive Patient QA



Treatment plan
visualization
VERIQA module RT View



Treatment plan
evaluation
VERIQA module RT Evaluate



Pre-treatment
verification
VERIQA module
RT MonteCarlo 3D



Pre-treatment and in vivo
verification VERIQA module
RT EPID 3D

Your advantages

- ▶ One platform: From visualization and evaluation to verification and reporting. All in one modular platform, built on future-proof client-server architecture
- ▶ Take your workflow efficiency to a next level and automate your processes
- ▶ Track and analyse your results with the automated integration of Track-it
- ▶ Clinically proven, independent 3D dose verification tools and calculation algorithms for reliable results, independent of treatment complexity

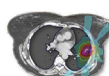


VERIQA RT MonteCarlo 3D

3D dose calculation with SciMoCa. Accurate. Fast. Automated.

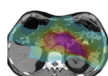


Discover VERIQA RT
MonteCarlo 3D



LUNG SBRT

3D / 7 beams
6 MV FFF



Pancreas

VMAT / 2 arcs / 180 CP¹
6 MV - SIB²



Brain

VMAT / 1 arc / 90 CP¹
6 MV FFF



Head and neck

VMAT / 2 arcs / 180 CP¹
6 MV - SIB²

PTV volume	46.45 cm ³	589.26 cm ³	264.48 cm ³	907.74 cm ³
Dose grid size	3 x 3 x 3 mm	3 x 3 x 3 mm	2 x 2 x 2 mm	2 x 2 x 2 mm
MC accuracy	1 %	1 %	0.5 %	0.5 %
Calculation time	12 sec	30 sec	46 sec	246 sec

Calculated on a dual 12-core Intel Xeon Silver 4214 2.2 GHz server with hyperthreading (48 logical cores).

Your advantages

- ▶ Monte Carlo simulations are the most accurate method for dose calculation in radiotherapy treatment planning. With its ability to simulate the physics of photons and charged particles transport through matter, Monte Carlo can accurately compute the dose under almost any circumstances
- ▶ VERIQA RT MonteCarlo 3D comes pre-installed on a powerful server, allowing for high-speed dose computations. Calculation results are available in less than 2 minutes
- ▶ Due to its specific beam modelling process, which is based on water phantom measurements, VERIQA RT MonteCarlo 3D performs truly independent dose calculations for a reliable secondary plan check



VERIQA RT EPID 3D

True EPID dosimetry. Pre-treatment. In vivo. Fully automated.



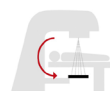
Discover VERIQA RT EPID 3D

Advanced 3D back-projection approach

* For simplicity, the comparison of forward-projection and back-projection approach is explained using the example of in vivo EPID dosimetry. However, the same concept holds true for EPID-based pre-treatment dosimetry.

Forward approach*

Current standard of commercial products



Treatment plan is used to predict EPID images. Measured EPID images are compared against predicted EPID images.

Back-projection approach*

Used in VERIQA RT EPID 3D



EPID measured dose is back-projected into patient. Dose is reconstructed in patient anatomy and compared against planned dose.

Comparison level	EPID	Patient
Reference	Predicted EPID image/dose distribution	TPS
Visualization	2D only	3D
Comparison metrics	2D Gamma	3D Gamma, GVH, DVH
True composite (TC) as recommended by AAPM TG-218	✗	✓

Your advantages

- ▶ Detect unnoticed clinically relevant errors during pre-treatment verification and quantitatively assess their dosimetric impact
- ▶ True 3D patient dosimetry: Compare the EPID-reconstructed dose directly to the planned patient dose as well as the calculation of patient dose-volume histograms (DVHs) for both pre-treatment and in vivo dosimetry
- ▶ Phantomless, efficient and fully automated
- ▶ Clinically proven back-projection algorithm: Successfully used at The Netherlands Cancer Institute - Antoni van Leeuwenhoek Hospital (NKI-AVL) in more than 75,000 patient treatments since 2005

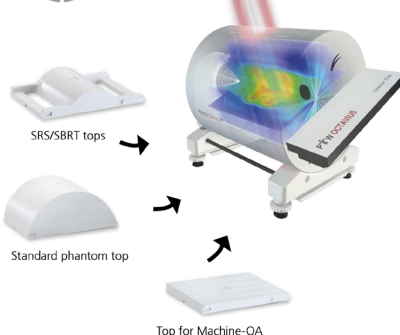


OCTAVIUS 4D

One phantom - modular solutions for 4D patient and machine QA



Discover OCTAVIUS
Detector 1600SR5



TPS independent 3D dose



Detector modularity

Three different detectors covering a full range of applications: from simple treatment plans to complex stereotactic procedures.

Your advantages

- ▶ Time dependent and angular dependent dose measurement
- ▶ Synchronous phantom rotation with the linac gantry
- ▶ Detector array always perpendicular to the beam - no angular dependence
- ▶ Only 4D dose verification system that measures dose in the entire phantom volume
- ▶ Verification of treatments including non-coplanar beams, off-axis target volumes, large fields and treatment plans with multiple energies

Editorial

Cerramos el año 2025 con este número en el que se incluyen dos artículos y la sección de revisión de artículos.

El primer trabajo compara distintas técnicas de planificación en radioterapia para cáncer de mama. Surge como desarrollo y evolución de un caso práctico propuesto a los alumnos del *Diploma Experto en Fundamentos de Física Médica*, también conocido como “los cursos de Baeza”. Además de aportar un componente de aprendizaje basado en competencias a los alumnos del curso, profundizando en la técnicas dosimétricas aplicadas al tratamiento del cáncer de mama, este estudio permite comparar los distintos planteamientos que se emplean en distintos centros.

El segundo de los trabajos presenta un cálculo de los periodos de restricción tras el alta radiológica de pacientes sometidos a terapia metabólica con $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ y $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-PSMA-617}$. Dicho cálculo sigue la metodología de la guía elaborada por el CSN y las Sociedades de Física Médica y Protección Radiológica sobre criterios de alta para tratamientos metabólicos de 1311.

En nuestra sección de revisión de artículos, llevada por Francisco Clemente, se presenta una variada selección de contribuciones de compañeros en publicaciones de alto impacto. En el ámbito de radioterapia se incluyen tres trabajos, el primero sobre las auditorías dosimétricas en braquiterapia de alta tasa de dosis, el siguiente sobre materiales flexibles obtenidos por impresión 3D para su uso como bolus y el tercero sobre umbrales de trabajo en dosimetría en vivo basada en EPI-Gray. En el ámbito de medicina nuclear se presenta el uso de la cámara Compton MACACO III para la obtención de imágenes y su aplicabilidad clínica. Finalmente, en el campo del radiodiagnóstico, se demuestra la viabilidad de la plataforma GAMOS para la simulación de imágenes mamográficas realistas.

Este número marca también el inicio de una nueva andadura dentro del *Comité de Redacción* (CR) con la renovación de los puestos de Director y de parte de sus miembros. Se incorporan Irene Torres como representante de la *Junta Directiva de la SEFM*, Antonio González en representación de la *Comisión Científica de la SEFM* y Sergio Panzuela y Leticia Irazola como editores asociados. Abandonan el CR José Antonio Terrón, Pablo Carrasco,

Ignasi Méndez, Luis Isaac Ramos y Víctor Hernández. A todos ellos queremos expresar aquí nuestro más sincero agradecimiento. Damos la bienvenida a los nuevos por su disposición a participar en este gran proyecto que es la *Revista de Física Médica* y extendemos nuestro agradecimiento a los que nos dejan por el excelente trabajo desarrollado en los últimos años, el cual ha sido crucial para que nuestra revista lograra su indexación.

Son 9 años los que José Antonio Terrón ha estado al frente de nuestra revista y ha sido bajo su dirección, gracias a su dedicación y buen hacer que se ha conseguido la consolidación de este referente científico imprescindible para nuestra sociedad. No podemos agradecerle lo suficiente la labor realizada durante todos estos años.

El futuro de la revista se nos presenta prometedor pero también plagado de retos que tenemos que afrontar y superar. No solo debemos mantener nuestra indexación como revista científica sino conseguir escalar, poco a poco, en el posicionamiento global. Para ello necesitamos mantener la alta calidad de los artículos publicados y aumentar el número de publicaciones, un requisito indispensable para progresar en el ranking. Tenemos asimismo la posibilidad de conseguir la indexación en otras bases de datos como puede ser la *ISI Web of Science* o la obtención del sello de calidad de la *Fundación Española para la Ciencia y Tecnología (FECYT)*. Todo ello sin olvidarnos que nuestra labor principal es dar un servicio de publicación de calidad para lo cual debemos seguir depurando, mejorando y agilizando el proceso de revisión, maquetación y publicación de los artículos recibidos. Somos conscientes del trabajo que esto supone pero sin duda contamos con vuestro apoyo para llevarlo a cabo.

No queremos terminar sin una mención que, si bien podría considerarse un cliché, no por ello deja de ser cierta: contamos y necesitamos de vuestra participación ya seáis autores consagrados con un alto perfil de publicaciones internacionales o autores noveles cuyo trabajo tiene su origen en una comunicación a un congreso o en una sugerencia de la unidad docente a la que pertenecéis. La *Revista de Física Médica* está aquí como plataforma o expositor de la excelencia investigadora que los miembros de la *Sociedad Española de Física Médica* demuestran cada día más y mejor.

6th ECMP 2026

European Congress of Medical Physics

23-26 September 2026 | Valencia | Spain



**Advancing Healthcare through Physics:
Bridging Science and Patient Care
for a Sustainable Future**



Organize



Welcome nation



ecmp2026.efomp.org

Technical secretariat **Cevents** | ecmp2026@cevents.es | (+34) 960 91 45 45

Comparación de técnicas de planificación en radioterapia para cáncer de mama: Un estudio multicéntrico en unidades docentes de radiofísica hospitalaria

Comparison of Planning Techniques in Radiotherapy for Breast Cancer: A Multicentre Study in Hospital Medical Physics Teaching Units

Rafael Ayala Lázaro^{1,34}, Francisco Javier Jiménez Albericio^{2,35}, María Luisa Ferrández Millán³, Antonio López Medina^{4,*}, Julien Alcaide de Wandeleer⁵, Emilio Altozano Ruiz⁶, Lorena Álvarez Bernardo⁷, Alberto Angulo Santos⁸, Pablo Arias Castro⁹, Beatriz Casasola Muñoz¹⁰, Rubén Chillida Rey¹¹, José Antonio Cuesta Reina¹, Sara Delgado Espinosa¹², Laura Díaz Tomé¹³, Óscar Estrada Pastor¹⁴, Tatiana Fernández Sánchez¹⁵, Antonio Gañán Mora¹⁶, Nicolás García Iglesias¹⁷, Tomás González González¹⁸, Elena González González², Pedro Matías Liñán Rodríguez¹⁹, Paula Llamas Martínez²⁰, María Martín Fontán²¹, Alberto Martínez Moreno²², Daniel Alexander Musson Gómez¹, Nuria Naranjo Jiménez²³, Guillermo Paradela Díaz²⁴, Francisco Piqueras Guardiola²⁵, Jaime Reverter Pérez⁴, Víctor Riu Molinero²⁶, Jesús Javier Rivas Morales²⁷, Miriam Sánchez Pérez²⁸, Rafael Manuel Segovia Brome²⁹, Javier Uzquiza López³⁰, Guillermo Veiguela Prado³¹, Rodrigo Vicente Bernal³², Naia Pereda Barroeta³³

¹ Servicio de Dosimetría y Radioprotección, Hospital General Universitario Gregorio Marañón.

² Servicio de Física y Protección Radiológica, Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa.

³ Servicio de Oncología Radioterápica, Hospital Clínico Universitario Lozano Blesa.

⁴ Servicio de Radiofísica, Complejo Hospitalario Universitario de Vigo.

⁵ Servicio de Oncología Radioterápica y Radiofísica, Hospital Universitari i Politècnic La Fe de Valencia.

⁶ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario Virgen de las Nieves.

⁷ Servei de Protecció Radiològica i Física Mèdica, Hospital Universitari Sant Joan de Reus.

⁸ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Instituto Valenciano de Oncología.

⁹ Servicio de Radiofísica Hospitalaria, Hospital Universitario Son Espases.

¹⁰ Servicio de Radiofísica, Hospital Universitario Puerta del Mar.

¹¹ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario Ramón y Cajal.

¹² Servicio de Radiofísica, Hospital Universitario Virgen del Rocío.

¹³ Servicio de Radiofísica, Hospital Universitario San Cecilio.

¹⁴ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Complejo Hospitalario Doctor Negrín.

¹⁵ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario Reina Sofía.

¹⁶ Servicio de Física Médica, Hospital Universitario Clínico San Carlos.

¹⁷ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario de Navarra.

¹⁸ Servicio de Física y Protección Radiológica, Hospital Universitario Miguel Servet.

¹⁹ Servicio de Radiofísica Hospitalaria, Hospital Universitario Puerta de Hierro.

²⁰ Servicio de Protección Radiológica y Radiofísica Hospitalaria, Complejo Hospitalario Universitario de Badajoz.

²¹ Servicio de Radiofísica Hospitalaria, Hospital Universitario 12 de Octubre.

²² Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Clínica Universidad de Navarra.

²³ Servicio de Radiofísica Hospitalaria, Hospital Regional Universitario de Málaga.

²⁴ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario de La Princesa.

²⁵ Servicio de Física Médica, Hospital Universitario de Canarias.

²⁶ Servei de Radiofísica i Radioprotecció, Hospital de la Santa Creu i Sant Pau.

*Correspondencia: antonio.lopez.medina@sergas.es

<https://doi.org/10.37004/sefm/2025.26.2.001>

²⁷ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital General Universitario de Ciudad Real.

²⁸ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Clínico Universitario de Valladolid.

²⁹ Servicio de Oncología Radioterápica, Hospital Universitario Virgen Macarena.

³⁰ Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Hospital Universitario Marqués de Valdecilla.

³¹ Servicio de Física Médica y Protección Radiológica, Hospital Universitario Central de Asturias.

³² Servicio de Radiofísica y Protección Radiológica, Complejo Asistencial Universitario de Salamanca.

³³ Servicio de Oncología Radioterápica, Hospital Universitario de Basurto.

³⁴ Grupo de Física Nuclear e IPARCOS, Departamento de Estructura de la Materia, Física Térmica y Electrónica, Universidad Complutense de Madrid.

³⁵ Centro de Astropartículas y Física de Altas Energías, Universidad de Zaragoza.

Fecha de Recepción: 27/01/2025 - Fecha de Aceptación: 22/10/2025

Proponemos un ejercicio que aplica aprendizaje basado en competencias y que evalúa la variedad de técnicas de radioterapia externa empleadas en distintas unidades docentes de España para tratar cáncer de mama.

Los asistentes al curso Fundamentos de Física Médica rellenaron un formulario donde expusieron las técnicas utilizadas en sus hospitales. Se compartió con ellos la información para realizar una planificación (imágenes tomográficas y estructuras) en respiración libre e inspiración forzada y realizaron una planificación según las técnicas habituales de cada hospital. Se desarrolló un código para comparar datos de diferentes planificadores y se analizó la significación estadística de la diferencia dosimétrica en diferentes volúmenes.

Los resultados muestran una gran variedad de técnicas utilizadas, destacando la radioterapia conformada 3D (37.5%) y la arcoterapia volumétrica de intensidad modulada (34.4%). Respecto a las planificaciones, se obtuvo mejor cobertura de los volúmenes blanco y menor dosis a los órganos de riesgo para la paciente simulada en inspiración forzada. También se analizó la influencia del tiempo de formación del residente.

El ejercicio propuesto sirve para evaluar la destreza del residente en la planificación para radioterapia de un tratamiento de cáncer de mama. Los datos para replicar el ejercicio están disponibles en un repositorio.

Palabras clave: Cáncer de mama, radioterapia, unidad docente, aprendizaje basado en competencias, estudio multicéntrico.

We propose an exercise that applies competency-based learning and evaluates the variety of external radiotherapy techniques used in different teaching units in Spain to treat breast cancer. Those attending the Fundamentals of Medical Physics course filled in a form where they presented the techniques used in their hospitals. The information for planning (tomographic images and structures) in free breathing and forced inspiration was shared with them and they made a planning according to the usual techniques of each hospital. A code was developed to compare data from different planners and the statistical significance of the dosimetric difference in different volumes was analyzed.

The results show a wide variety of techniques used, with 3D conformal radiotherapy (37.5%) and volumetric intensity-modulated arc therapy (34.4%) standing out. Regarding planning, better coverage of target volumes and lower dose to organs at risk was obtained for the patient treated in forced inspiration. The influence of the resident's training time was also analyzed.

The proposed exercise serves to evaluate the resident's skill in radiotherapy planning for breast cancer treatment. The data to replicate the exercise are available in a repository.

Key words: Breast cancer, radiotherapy, teaching unit, competency-based learning, multicenter study.

1. Introducción

Los profesores del módulo 4, *Bases físicas, equipos y control de calidad en Radioterapia Externa II (Dosimetría clínica)*, del Diploma de Experto en Fundamentos de Física Médica (*"curso de Baeza"*) 2023-2024, organizado por la SEFM y la UNIA, hemos decidido proponer un caso práctico en la fase posterior del curso, ya que en un modelo de aprendizaje basado en las competencias¹ se debe evaluar la habilidad para llevar a cabo las tareas y demostrar el conocimiento adquirido. Este trabajo complementa el

propósito inicial del curso, que es cubrir gran parte de la formación teórica en la especialidad de Radiofísica Hospitalaria y uniformizar los conocimientos teóricos básicos de esta disciplina clínica.² Además, permite una evaluación de las competencias adquiridas, lo que lo aproxima al modelo formativo propuesto en el Core Curriculum elaborado por el grupo de trabajo conjunto de la European Federation of Organisations for Medical Physics (EFOMP) y la European Society of Radiation Oncology (ESTRO).³ De hecho, Moideen et al.⁴ han aportado evidencias de que tanto el contorno de volúmenes como la planificación son las áreas que

mejor se pueden adaptar a un currículum basado en competencias.

En los últimos años, los tratamientos de radioterapia han experimentado avances significativos en términos de dosis, fraccionamiento y técnicas dosimétricas empleadas.⁵ La disponibilidad de herramientas de imagen cada vez más precisas ha permitido una mejor definición del volumen blanco y de los órganos sanos adyacentes. Esto, combinado con la introducción de equipos de tratamiento más versátiles, así como el desarrollo de algoritmos de cálculo más rápidos y precisos, ha llevado a un abandono progresivo de la radioterapia conformada en tres dimensiones (3DCRT)⁶ a favor de técnicas de intensidad modulada (IMRT)⁷ o de arcoterapia volumétrica de intensidad modulada (VMAT).⁸ Estas modalidades terapéuticas permiten disminuir los márgenes en los volúmenes de tratamiento y aplicar esquemas hipofraccionados, optimizando así los resultados clínicos y el aprovechamiento de las unidades de tratamiento. No obstante, las técnicas de IMRT y VMAT pueden aumentar el volumen de tejido irradiado a dosis bajas,⁹ además de llevar frecuentemente asociado un proceso de verificación del tratamiento que aumenta la carga de trabajo.

A pesar de representar un porcentaje significativo de los tratamientos de radioterapia, el cáncer de mama presenta una notable variabilidad en su abordaje dosimétrico entre centros, incluso cuando se utilizan el mismo sistema de planificación y el mismo acelerador. Aún no existe un consenso claro sobre la mejor técnica de tratamiento para esta patología, en función del centro pueden incluir IMRT, VMAT, 3DCRT, así como técnicas híbridas combinación de las anteriores.⁹⁻¹² Además, se emplean diferentes métodos de posicionamiento, con imágenes portales y/o tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), y varias herramientas de control respiratorio.¹³⁻¹⁵ Por todo ello se ha creado un grupo de trabajo de la EFOMP* con el objetivo de buscar un consenso en Europa, que aún no ha publicado su informe final. No obstante, en lo que respecta al fraccionamiento, a la dosis prescrita y al contorno de volúmenes,¹⁶⁻¹⁸ sí que hay un mayor consenso en la actualidad y el panel de expertos de la sociedad alemana de oncología (DEGRO) recomienda el uso de control respiratorio para reducir la dosis en el corazón si se trata de la mama izquierda.¹⁹

Por esta razón, hemos diseñado para los alumnos un trabajo fin de módulo en el que tengan que abordar la dosimetría de una paciente con un tumor en la mama izquierda, por un lado, en condiciones de respiración libre (RL), y por otro, en condiciones de inspiración forzada (IF). El objetivo principal de este ejercicio es que los radiofísicos en formación profundicen en este tipo

de dosimetrías aplicadas al tratamiento del cáncer de mama. Además, permite comparar los distintos planteamientos que se emplean en cada centro y valorar, desde el punto de vista docente, las destrezas adquiridas por los alumnos en planificación dosimétrica. La realización de ambas dosimetrías permite constatar el beneficio terapéutico que puede llegar a suponer el uso de herramientas de control respiratorio en este tipo de tratamientos, sin perder de vista que el empleo de estas herramientas está condicionado por la capacidad de colaborar de la paciente.

Somos conscientes de que no en todos los centros se prescribe la misma dosis ni fraccionamiento y que tampoco se exigen los mismos objetivos para los volúmenes blanco (PTVs) ni restricciones para los órganos de riesgo (OARs). Por ello, a fin de facilitar el desarrollo de este trabajo, y dado que los requisitos del ensayo Radiation Therapy Oncology Group (RTOG) 1005²⁰ son los más utilizados, decidimos que se llevaran a cabo las dosimetrías siguiendo las prescripciones de dosis de este documento. En concreto, optamos por el fraccionamiento de la rama II del ensayo, que se corresponde con un tratamiento con boost integrado, con una prescripción de 15 fracciones de 40.05 Gy al PTV_MI (mama izquierda) y 48 Gy al PTV_48 (lecho quirúrgico).

Esta publicación surge con el propósito de mostrar los diferentes resultados dosimétricos obtenidos por los estudiantes y dejar evidencia de la variabilidad de técnicas que se utilizan en los distintos centros para abordar el mismo caso clínico. El estudio tiene la limitación de que las planificaciones han sido realizadas por radiofísicos en formación, por lo que es probable que no estén optimizadas y que no sean representativas de los resultados dosimétricos que se pueden llegar a obtener en sus centros. No obstante, la experiencia del alumno en radioterapia en el momento de realizar las dosimetrías ha sido una variable considerada.

2. Material

En la fase previa no presencial del Módulo 4 del Diploma de Experto en Fundamentos de Física Médica, los alumnos rellenaron un primer formulario en el que se les preguntaba sobre el abordaje del tratamiento de cáncer de mama con radioterapia externa en sus respectivos centros. Las respuestas a este formulario constatan la variedad de técnicas utilizadas para el mismo caso.

En la fase posterior no presencial, la actividad propuesta para el trabajo fin de módulo fue la realización de la planificación del tratamiento y el cálculo dosimétrico para el caso de una paciente con un cáncer de mama izquierda siguiendo las directrices de su unidad. Para ello, los participantes recibieron dos estudios de

* EFOMP. Working Group "Volumetric Modulated Arc Therapy. 2022. Available from: <https://www.efomp.org/index.php?r=news/view&id=291> [Last accessed: 23/06/2025].

tomografía computarizada (CT) de la misma paciente, uno en RL y otro en IF, ambos realizados en un equipo *Somatom Go* (Siemens Healthcare GmbH, Erlangen, Alemania), con el sistema de control respiratorio RPM (Varian Medical Systems, Palo Alto, California, EE.UU.). La especialista en Oncología Radioterápica que participa como docente en el módulo, basándose en el consenso de definición de contornos en cáncer de mama de RTOG, European Organisation for Research and Treatment of Cancer (EORTC) y ESTRO,²¹ y aplicando su experiencia de más de 150 tratamientos de pacientes con cáncer de mama al año en los últimos 5 años, contorneó en ambas series de imágenes PTV_MI, PTV_48, así como los órganos de riesgo que recomienda el documento RTOG 1005.

2.1. Solicitud de consentimiento informado y descripción del trabajo

La paciente cuyo caso fue elegido firmó un consentimiento informado en el que cedía sus datos para que pudieran ser usados como material docente y de investigación. Además, se solicitó autorización para la realización de proyectos de formación e investigación con material del centro sanitario en el que fue tratada la paciente. El proyecto de esta actividad se presentó ante el comité de Ética en la Investigación de la Comunidad Autónoma de Aragón. Todos los archivos que contienen información clínica de la paciente se han anonimizado. El tratamiento recibido por la paciente no ha sido influido, ni condicionado en modo alguno por la realización de este estudio. Asimismo, los alumnos firmaron un documento de confidencialidad en el que se comprometían a utilizar los datos proporcionados sólo para la actividad propuesta.

Junto con las instrucciones del trabajo, a los alumnos les fueron proporcionadas dos carpetas que contenían las imágenes de CT y estructuras delimitadas, tanto en RL como en IF.

Además, se incluyó el protocolo del ensayo clínico RTOG 1005²⁰ para que lo consultaran y utilizaran como referencia, marcando éste los objetivos de cobertura de los PTVs y las restricciones de dosis de los OARs.

Finalmente, tras valorar la utilidad del caso para otros profesionales, y contando con un nuevo consentimiento informado de la paciente, tanto las imágenes como sus estructuras asociadas se hicieron públicas en un repositorio en Zenodo.[†]

[†]Ferrández M, Jiménez J, Ayala R, et al. Breast Cancer: CT and Structures. Free-Breathing vs DIBH Technique. 2024; doi: 10.5281/ZENODO.14176420. <https://zenodo.org/records/15516915>

2.2. Criterios dosimétricos analizados

Basándonos en las instrucciones de la rama II del ensayo clínico RTOG 1005, se consideró un cumplimiento estricto cuando la planificación cumplía los criterios dosimétricos de la tabla 1:

Tabla 1. Criterios dosimétricos utilizados para valorar el cumplimiento estricto de las instrucciones del ensayo clínico RTOG 1005.

Estructura	Objetivo dosimétrico
Pulmón izquierdo	V4Gy \leq 50%
	V8Gy \leq 35%
	V16Gy \leq 15%
Pulmón derecho	V4Gy \leq 10%
Corazón	Dosis media \leq 4 Gy
	V8Gy \leq 30%
	V16Gy \leq 5%
Mama derecha	Dosis máxima \leq 2.64 Gy
PTV_MI	V36Gy \geq 90%
	V38Gy \geq 95%
	V43.2Gy \leq 50%
	V48Gy \leq 30%
PTV_48	Dosis máxima \leq 55.2 Gy
	V52.8Gy \leq 10%
	V43.2Gy \geq 90%
	V45.6Gy \geq 95%

Se consideró un cumplimiento laxo cuando se hubieron conseguido todos los objetivos de la tabla 1, con excepción del criterio de dosis máxima en la mama derecha, que era el parámetro más complicado de lograr.

Cabe señalar que, con fines docentes y para simplificar la actividad, se proporcionaron a los alumnos los criterios tal como se recogen en la tabla, sin diferenciar entre objetivos de optimización y variaciones aceptables, aunque dicha distinción está contemplada en el documento original del RTOG 1005. Por ejemplo, los criterios dosimétricos V38Gy \geq 95% y V36Gy \geq 90% podrían parecer, a priori, redundantes. Sin embargo, esta aparente duplicidad se debe a que el primero corresponde a un objetivo de planificación, mientras que el segundo representa una variación aceptable dentro de los márgenes establecidos por el protocolo.

2.3. Cuestionario

Una vez finalizado el curso, se consideró la posibilidad de recabar información adicional para la elaboración de un estudio basado en los planes de tratamiento presentados por los alumnos mediante un cuestionario con preguntas relativas al abordaje de las dosimetrías de mama, en particular mama izquierda, en sus respectivos centros.

El cuestionario contenía, además de las preguntas de identificación del participante, otras once preguntas repartidas en tres bloques: simulación de tratamientos similares en su centro, planificación de tratamientos similares en su centro y experiencia previa del participante en la planificación de tratamientos de radioterapia externa. Esta información fue necesaria para clasificar de forma precisa las planificaciones enviadas.

3. Método

3.1. Planificación de los tratamientos

Los participantes en este estudio, que provenían de 31 unidades docentes de España, importaron los archivos DICOM (ambas series de imágenes y los dos conjuntos de estructuras) y generaron un paciente nuevo en el planificador de su hospital.

Se solicitó a cada uno de ellos que realizara dos planificaciones haciendo uso de la técnica implementada en su centro, tanto para el caso de RL, como para el de IF, intentando respetar, en la medida de lo posible, las restricciones del ensayo clínico RTOG 1005. Por otra parte, se recomendó a aquellos que aún no hubieran rotado por radioterapia o que llevaran muy poco tiempo realizando tareas de dosimetría clínica, que pidieran ayuda a un compañero residente con más experiencia o a un radiofísico especialista. Se indicó a los participantes que, si bien debían tratar de optimizar sus planificaciones siguiendo las técnicas habituales de su centro, el objetivo principal del ejercicio era poner de manifiesto las diferencias dosimétricas derivadas del uso de dos técnicas de inmovilización distintas, más que competir por obtener la mejor planificación posible. Esto permitiría, además, valorar las competencias adquiridas en función de la experiencia del alumno. Para reducir la variabilidad de los resultados, se indicó a los participantes que aplicaran la curva de calibración número CT/densidad electrónica (CT/ED) o número CT/densidad másica (CT/MD), así como el algoritmo de cálculo que utilizan habitualmente en su centro para las dosimetrías de mama.

Una vez realizadas las dos dosimetrías, tuvieron que evaluarlas y comprobar si cumplían los criterios que se indican en el ensayo RTOG 1005, tanto para los PTVs

como para los OARs. Por último, subieron los archivos DICOM resultantes RTPlan y RTDose de ambas planificaciones a una carpeta disponible para los docentes.

Posteriormente, los alumnos que voluntariamente quisieron participar en este estudio completaron el cuestionario citado en el apartado 2.3.

3.2. Análisis de las planificaciones

Los datos DICOM proporcionados por los alumnos fueron analizados con la herramienta *dicompyler-core*[‡] para extraer información y estadísticas de las diferencias entre los centros participantes. En este proceso se desestimaron las planificaciones que no alcanzaran PTV_MI V38Gy >90% y PTV_48 V45.6Gy >90% por no considerarse clínicamente aceptables.

En primer lugar, se compararon los resultados dosimétricos obtenidos en RL y en IF, incluyendo en esta comparación todas las planificaciones. Para este primer análisis se realizó una prueba de rangos con signo de Wilcoxon bilateral, aplicada a la diferencia de las medianas entre los distintos grupos dado que, a priori, no fue posible asumir la normalidad de las muestras obtenidas. Se consideraron estadísticamente significativos los valores de p menores o iguales a 0.05. Posteriormente, se segmentaron los resultados según la técnica de irradiación y la experiencia previa del alumno.

Para el análisis de la técnica de irradiación, se decidió agrupar las planificaciones en tres grupos: 3D, IMRT y VMAT. El grupo 3D engloba las técnicas de 3D conformada, *Field-in-Field* e híbrida (*Field-in-Field* para la mama con un campo VMAT para el boost y/o un campo VMAT homogeneizador). El grupo IMRT comprende *IMRT Step&Shoot* e *IMRT Sliding Window*, y, por último, VMAT incluye exclusivamente técnicas volumétricas de arcoterapia. En primer lugar, se realizó una prueba de Kruskal-Wallis para identificar los criterios dosimétricos con diferencias estadísticamente significativas entre alguno de los grupos. Posteriormente, se llevó a cabo una prueba U de Mann-Whitney entre las distintas técnicas, de forma pareada, para evaluar la significación estadística de las diferencias observadas.

En cuanto a la experiencia previa en tratamientos de mama, los datos se segmentaron en dos grupos: alumnos que habían realizado menos de 10 planificaciones y el otro grupo con los que habían realizado más de 10. Nuevamente, se realizó una prueba U de Mann-Whitney para evaluar las posibles diferencias estadísticamente significativas.

[‡] Panchal A, Pyup.lo Bot, Cutright D, et al. *Dicompyler/Dicompyler-Core*: V0.5.6. 2023; doi: 10.5281/ZENODO.7908530. <https://zenodo.org/records/7908530>

4. Resultados

4.1. Descripción de la muestra de alumnos participantes

El número de alumnos matriculados en el módulo 4 en el curso 2023-2024, residentes de Radiofísica Hospitalaria en centros situados en España, fue de 43, de los cuales 35 enviaron correctamente las planificaciones y sus resultados superaron los criterios mínimos de calidad descritos en el apartado anterior. La mayoría de ellos (59.4%) estaban en su segundo año de formación (R2), mientras que 6 (18.8%) estaban iniciando la residencia (R1), y los 7 restantes (21.9%) estaban en su último año de formación (R3). No obstante, su tiempo de rotación en radioterapia era muy diverso como se puede apreciar en la fig. 1, que muestra un diagrama sectorial de la distribución de alumnos en seis grupos que van desde los que no habían rotado todavía a los que superaban los 12 meses de rotación.

El cuestionario posterior fue respondido por 32 alumnos, pero no todos ellos se encontraban en el grupo de 35 alumnos cuya planificación fue aceptada. El número de alumnos que enviaron correctamente las planificaciones con resultados clínicamente aceptables y que, además, respondieron al cuestionario fue de 24. Esto explica que, en los siguientes resultados, el número de muestras (N) varíe entre 35, 32 y 24.

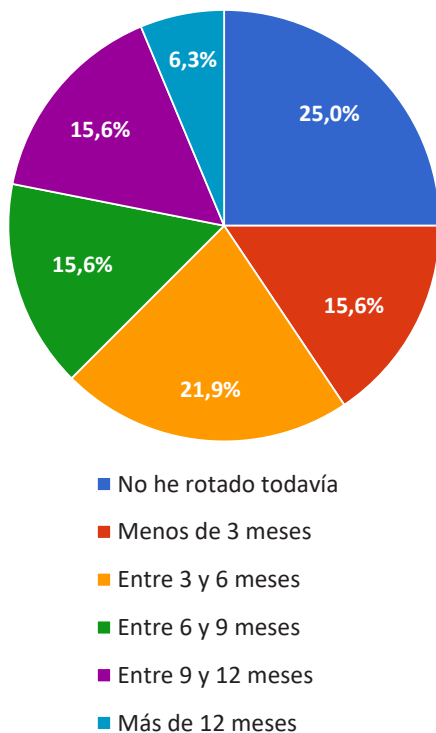


Fig. 1. Distribución de la experiencia previa en radioterapia de los participantes (32 respuestas).

Para evaluar la influencia de la experiencia previa, además del tiempo de rotación, se ha considerado el número de tratamientos de cáncer de mama planificados previamente (fig. 2). Los alumnos que pidieron ayuda para realizar el ejercicio fueron todos los que no habían realizado ningún tratamiento similar, y además uno que había realizado menos de 10 y otro que había realizado entre 10 y 20. El resto de los alumnos no recibieron ayuda.

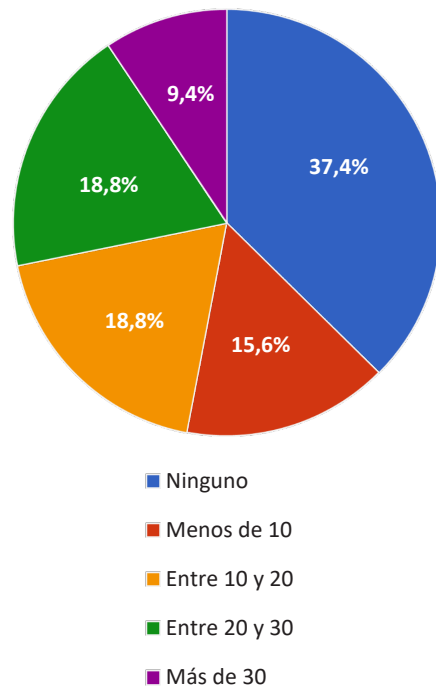


Fig. 2. Distribución del número de tratamientos planificados de mama antes de la realización del ejercicio (32 respuestas).

4.2. Descripción del equipamiento disponible

Tal y como muestra la fig. 3, un 65.6% de los alumnos estaban familiarizados con un sistema de IF al disponer de este sistema en su hospital, frente al 34.4% que no.

Los sistemas de planificación (fig. 4) empleados son también muy variados: Eclipse (Varian Medical Systems, Palo Alto, California, EE.UU.), Monaco (Elekta, Crawley, Reino Unido), Pinnacle (Philips, Eindhoven, Países Bajos), Raystation (RaySearch Laboratories AB, Estocolmo, Suecia), PCRT 3D (Técnicas Radiofísicas, Zaragoza, España) y Precision (Accuray, Madison, Wisconsin, EE.UU.). De los 32 participantes, 22 realizaron el cálculo de dosis en medio, mientras que 10 realizaron el cálculo de dosis en agua.

Respecto al equipo de tratamiento (fig. 5) para el que el alumno realizó la planificación, el más frecuente es un acelerador lineal TrueBeam (Varian Medical

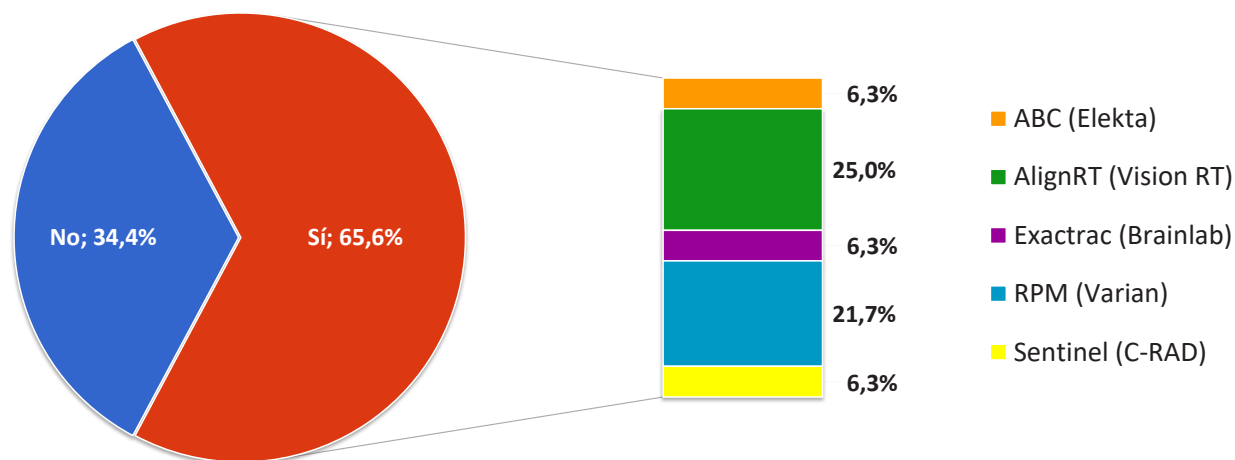


Fig. 3. Distribución del sistema de IF de los centros de procedencia de los alumnos (32 respuestas).

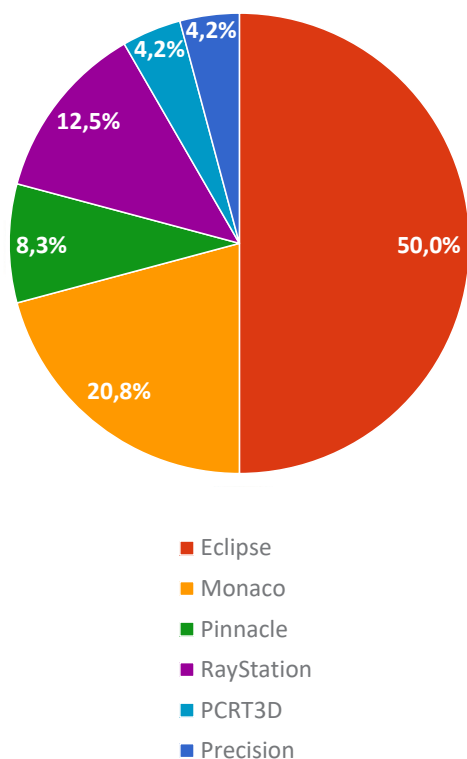


Fig. 4. Diagrama de la distribución del sistema de planificación de los alumnos del estudio (24 respuestas).

Systems, Palo Alto, California, EE.UU.), elegido en el 41.7%, seguido de un VERSA (Elekta, Crawley, Reino Unido), elegido en el 33.3%. Representados con un solo equipo están Edge, Clinac, Halcyon y VitalBeam de Varian, Infinity de Elekta y TomoTherapy de Accuray (Madison, Wisconsin, EE.UU.).

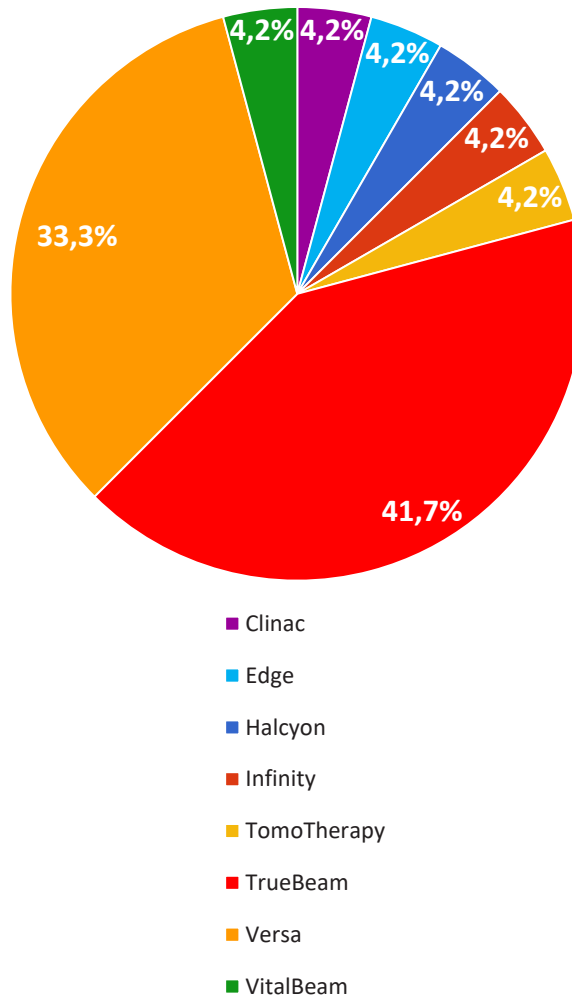


Fig. 5. Diagrama de la distribución del equipo donde se podría tratar la planificación realizada (24 respuestas).

4.3. Descripción de las técnicas empleadas

Las técnicas más empleadas fueron las incluidas en el grupo que se ha categorizado como 3D (37.5%), seguida de la técnica VMAT (34.4%). Finalmente, la técnica con campos de IMRT (Step&Shoot o técnica dinámica) representó sólo el 28.1% (32 respuestas). La mayoría de los participantes eligió campos con energías de 6 MV con filtro aplanador (FF). Sin embargo, un 9.4% optó por campos de 6 MV sin filtro aplanador (FFF).

4.4. Descripción de resultados obtenidos en las planificaciones

4.4.1. Resultados dosimétricos en IF vs. RL

En esta sección se muestran las comparaciones de los planes de tratamiento generados para la paciente, en condiciones de IF y RL, de los alumnos que enviaron correctamente las planificaciones, con resultados

clínicamente aceptables, y que respondieron al cuestionario (N = 24).

Cabe destacar que los planes fueron realizados en distintos hospitales, empleando diversos sistemas de planificación y calibraciones específicas de cada acelerador lineal. Esta variabilidad introduce diferencias significativas en el número de unidades monitor (UM), derivadas fundamentalmente de los métodos de calibración utilizados y de los algoritmos implementados en cada sistema. Por este motivo, se ha optado por no realizar un análisis estadístico de las UM, presentando únicamente una comparación descriptiva (fig. 6) y dejando constancia de que las discrepancias observadas no deben interpretarse como diferencias clínicas relevantes.

En la fig. 7 se pueden observar las distribuciones obtenidas de los distintos parámetros dosimétricos evaluados, recogidos en la tabla 1, distinguiendo entre los casos de RL e IF. Las mayores diferencias se observan en los criterios dosimétricos correspondientes al pulmón izquierdo y en la dosis media en el corazón.

En la tabla 2 se presentan las diferencias de las medianas de cada punto de referencia del histograma

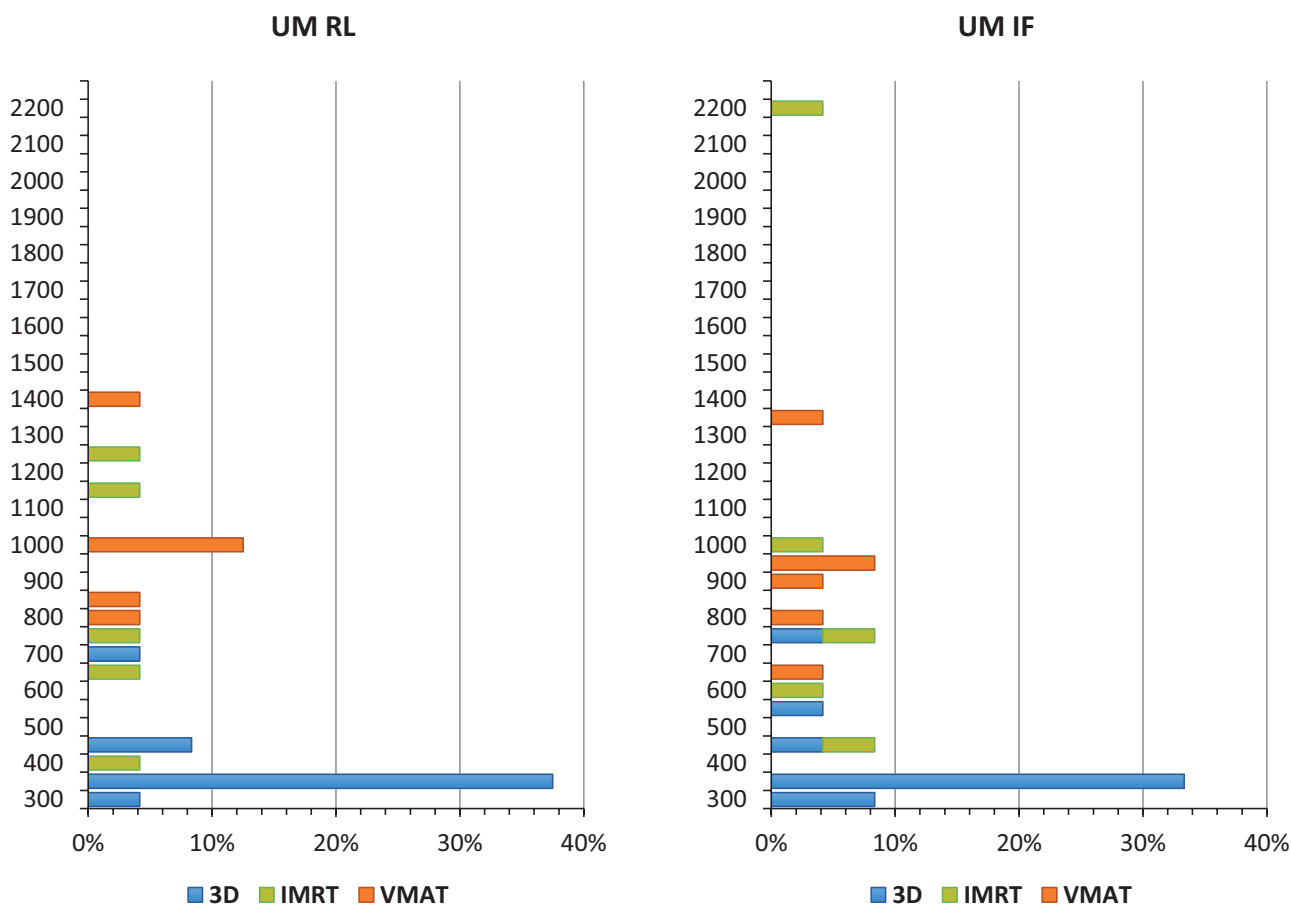


Fig. 6. Distribución de las UM calculadas por los alumnos para los casos de RL e IF en función de la técnica utilizada (24 respuestas).

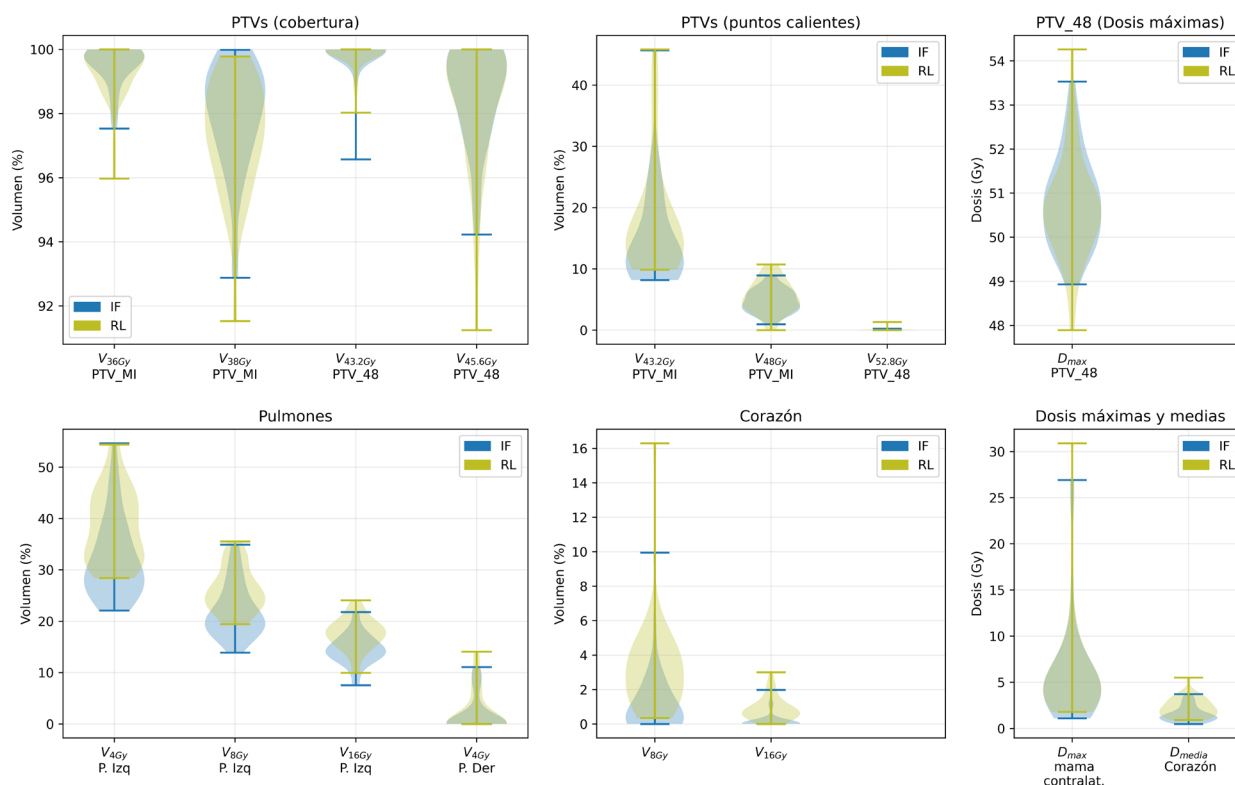


Fig. 7. Comparativa de los distintos criterios dosimétricos indicados en el ensayo clínico RTOG 1005 (N = 35).

junto con el valor p del test de los rangos con signo de Wilcoxon. Sólo se muestran los resultados con valores de p menores o iguales a 0.05, que son los que consideramos estadísticamente significativos (N = 35).

El análisis de Wilcoxon muestra diferencias significativas entre los planes de tratamiento en RL e IF en

varios criterios dosimétricos. Se observa que el porcentaje de volumen de PTV de mama izquierda irradiado a 48 Gy y 43.2 Gy es mayor en RL, mientras que el PTV irradiado a 38 Gy presenta una menor mediana en RL. En el pulmón izquierdo, los volúmenes irradiados a 16, 8 y 4 Gy son significativamente más altos en RL.

Tabla 2. Valores de la mediana de los distintos criterios dosimétricos, junto con su diferencia y el valor p resultante de la prueba de Wilcoxon. Los valores entre paréntesis indican el rango intercuartílico (RIC). Sólo se muestran los criterios en los que se observan diferencias estadísticamente significativas ($p \leq 0.05$).

Estructura	Criterio dosimétrico	Mediana (RIC) RL	Mediana (RIC) IF	Diferencia (RL - IF)	p
PTV_MI	V48Gy (%)	5.3 (3.7 a 7.0)	4.6 (3.5 a 6.1)	0.7	0.008
	V43.2Gy (%)	15.5 (12.2 a 18.5)	12.2 (9.8 a 18.1)	3.3	< 0.001
	V38Gy (%)	97.5 (96.3 a 98.8)	98.4 (97.2 a 99.1)	-1.0	0.006
Pulmón izquierdo	V16Gy (%)	17.7 (16.0 a 19.2)	14.5 (13.1 a 16.0)	3.1	< 0.001
	V8Gy (%)	25.2 (23.1 a 28.4)	20.5 (18.8 a 24.6)	4.7	< 0.001
	V4Gy (%)	37.4 (31.9 a 43.4)	29.9 (26.2 a 37.3)	7.5	< 0.001
Corazón	V16Gy (%)	0.7 (0.5 a 1.1)	0.0 (0.0 a 0.1)	0.7	< 0.001
	V8Gy (%)	3.3 (1.5 a 4.0)	0.4 (0.1 a 1.9)	2.9	< 0.001
	Dmedia (Gy)	2.1 (1.5 a 3.1)	1.2 (0.9 a 1.8)	0.9	< 0.001

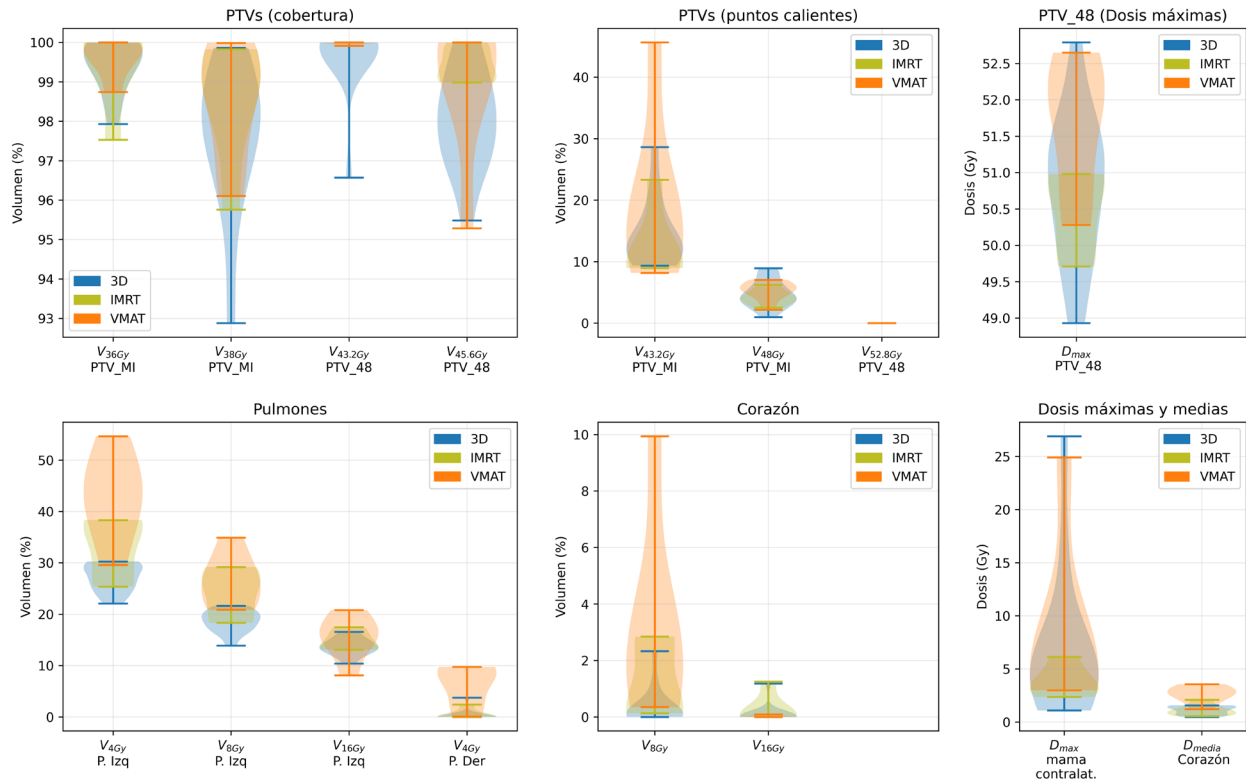


Fig. 8. Comparativa de los distintos criterios dosimétricos del estudio frente a la técnica de tratamiento para la simulación en IF (N = 24).

Tabla 3. Valores mediana de los distintos criterios dosimétricos para técnicas 3D, IMRT y VMAT planificados sobre el estudio correspondiente a IF (N = 24). Sólo se muestran los resultados para los criterios dosimétricos que han superado la prueba de Kruskal-Wallis. Los datos en negrita corresponden con valores p menores o iguales a 0.05.

Estructura	Criterio dosimétrico	Medianas y p Kruskal-Wallis				Diferencia de medianas y p Mann-Whitney U					
		3D	IMRT	VMAT	p	IMRT - 3D	p	VMAT - 3D	p	VMAT - IMRT	p
Pulmón izquierdo	V8Gy (%)	19.1	25.9	26.3	0.005	6.8	0.095	7.2	< 0.001	0.4	0.429
	V4Gy (%)	27.5	36.5	43.1	0.004	9.0	0.143	15.7	< 0.001	6.7	0.052
Corazón	Dmedia (Gy)	1.2	0.9	2.7	0.007	-0.2	0.924	1.5	0.002	1.8	0.009

Tabla 4. Valores mediana de los distintos criterios dosimétricos para técnicas 3D, IMRT y VMAT planificados sobre el estudio correspondiente a RL (N = 24). Sólo se muestran los resultados para los criterios dosimétricos que han superado la prueba de Kruskal-Wallis. Los datos en negrita corresponden con valores p menores o iguales a 0.05.

Estructura	Criterio dosimétrico	Medianas y p Kruskal-Wallis				Diferencia de medianas y p Mann-Whitney U					
		3D	IMRT	VMAT	p	IMRT - 3D	p	VMAT - 3D	p	VMAT - IMRT	p
Pulmón izquierdo	V8Gy (%)	23.6	31.8	27.8	0.015	8.2	0.173	4.3	0.001	-4.0	0.931
Corazón	V8Gy (%)	1.7	3.5	4.0	0.041	1.8	0.246	2.3	0.012	0.5	0.429
	Dmedia (Gy)	1.9	1.4	3.2	0.005	-0.5	0.566	1.3	< 0.001	1.8	0.082

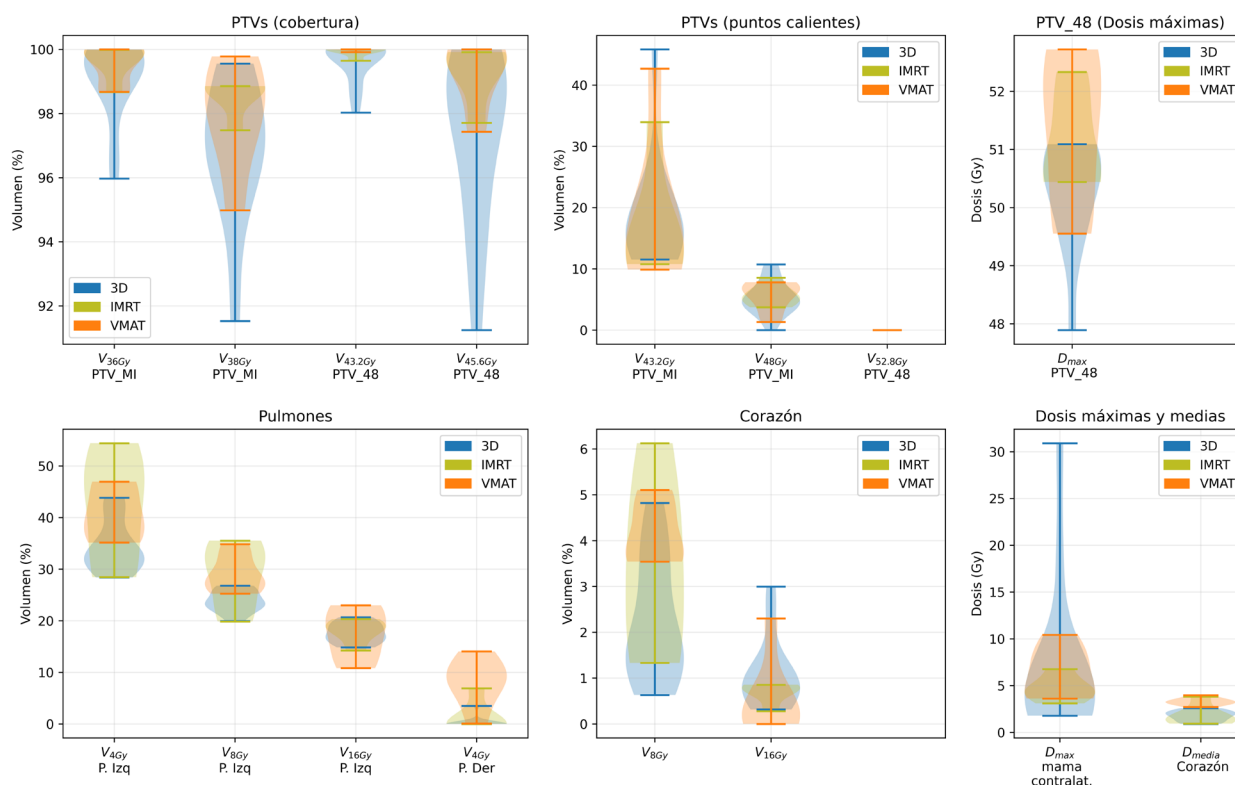


Fig. 9. Comparativa de los distintos criterios dosimétricos del estudio frente a la técnica de tratamiento para la simulación en RL (N = 24).

Además, el corazón muestra diferencias significativas en los volúmenes a 16 Gy y 8 Gy, así como en la dosis media, siendo estos valores más altos en RL.

4.4.2. Valores del DVH vs. técnica de tratamiento utilizada

En esta sección se comparan los valores de los distintos criterios dosimétricos de la tabla 1 según la técnica de irradiación empleada.

Las fig. 8 y fig. 9 muestran las comparaciones de estos criterios dosimétricos entre las distintas técnicas para la simulación en IF y RL, respectivamente. En este análisis se han incluido un total de 24 planificaciones. De estas, 13 corresponden a planificaciones realizadas con técnica de irradiación 3DCRT, 5 con IMRT y 6 con VMAT.

Las tablas 3 y 4, muestran las diferencias estadísticamente significativas que se han encontrado en el análisis.

En el caso de IF (tabla 3), los análisis realizados con la prueba U de Mann-Whitney indican diferencias significativas entre las técnicas de irradiación en varios criterios dosimétricos. En la comparación entre VMAT

y 3D, se observan diferencias estadísticamente significativas en los parámetros V4Gy y V8Gy de pulmón izquierdo, siendo superiores los volúmenes irradiados con VMAT en ambos casos. En la comparativa entre 3D e IMRT, las diferencias encontradas no tienen significación estadística, no obstante, el valor de la mediana para V4Gy y V8Gy es inferior para 3D.

En cuanto a la dosis media en el corazón, se encuentran diferencias significativas tanto entre VMAT y 3D como entre VMAT e IMRT, con valores de dosis media más altos en VMAT en comparación con las otras dos técnicas. Por otro lado, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas entre IMRT y 3D en ninguno de los criterios analizados.

En condiciones de RL (tabla 4), se observan diferencias significativas entre las técnicas de irradiación en varios criterios dosimétricos, según los resultados de la prueba U de Mann-Whitney. Para el V8Gy de pulmón izquierdo, se observa una diferencia significativa entre VMAT y 3D, con valores más bajos para 3D. No obstante, no se encontraron diferencias significativas entre IMRT y 3D ni entre VMAT e IMRT. En el criterio V8Gy de corazón, se presentan diferencias significativas entre VMAT y 3D, donde en este caso 3D vuelve a presentar valores más bajos.

En cuanto a la dosis media en el corazón, se detectan diferencias significativas entre VMAT y 3D, siendo VMAT la técnica con mayores valores de dosis media. Sin embargo, entre IMRT y 3D y entre VMAT e IMRT, no se hallaron diferencias estadísticamente significativas en ninguno de los criterios analizados.

4.4.3. Valores del DVH vs. experiencia en planificación de tratamientos de mama

Los valores del DVH se analizaron también en función de la experiencia previa en planificación de tratamientos de mama, comparando las planificaciones realizadas por alumnos con menos de 10 tratamientos frente a aquellos con 10 o más. Las fig. 10 y 11 ilustran gráficamente los resultados obtenidos para condiciones de IF y RL, respectivamente. De las 24 planificaciones evaluadas en este apartado, 13 corresponden a estudiantes con menos de 10 tratamientos planificados y 11 a aquellos con 10 o más.

Aplicando la prueba U de Mann-Whitney a los datos de IF y RL, sólo se obtiene un resultado en el cual la diferencia entre grupos resulta estadísticamente significativa. Se trata del caso de IF y el parámetro V16Gy del pulmón izquierdo, donde se observa una diferencia

en la mediana de 1.8% a favor del grupo con mayor experiencia, con un valor p de 0.049.

5. Discusión

5.1. Limitaciones del estudio

Los planes de tratamiento elaborados por cada participante se realizaron sobre los mismos estudios de CT de la paciente (RL, IF). Sin embargo, al incorporarlos al sistema de planificación propio de cada centro, se aplicó la función de calibración CT/ED o CT/MD correspondiente al CT utilizado en cada institución. Este aspecto puede ser una fuente de dispersión de los resultados obtenidos.

Se esperaba mayor participación por parte de los estudiantes. Algunos de los estudiantes que participaron en el módulo 4 no enviaron datos por lo que no han participado en el estudio, otros han enviado el formulario incompleto y otros han enviado los datos en formato no adecuado.

La escasa diferencia observada entre las planificaciones realizadas por los alumnos más experimentados y los menos, puede deberse a que los menos experi-

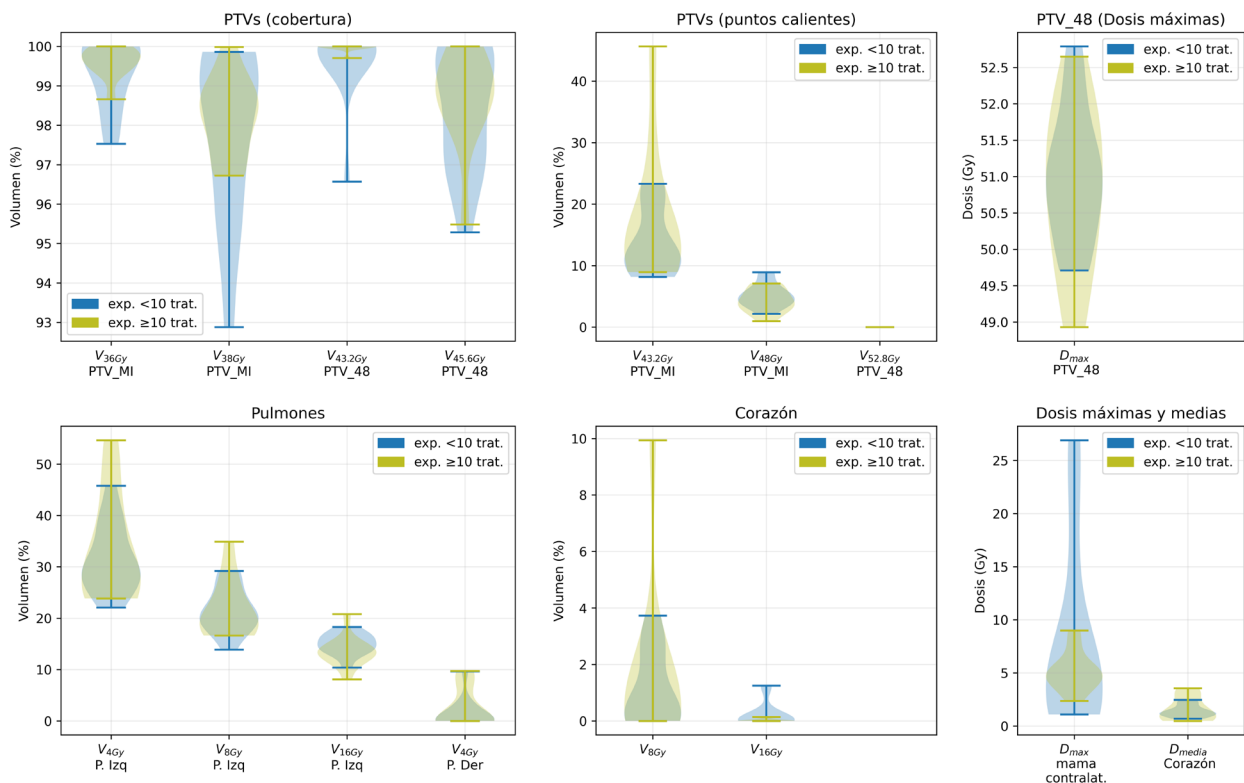


Fig. 10. Comparativa de los distintos criterios dosimétricos indicados en el ensayo clínico RTOG 1005 en función de la experiencia previa del alumno, para simulación en IF (N = 24).

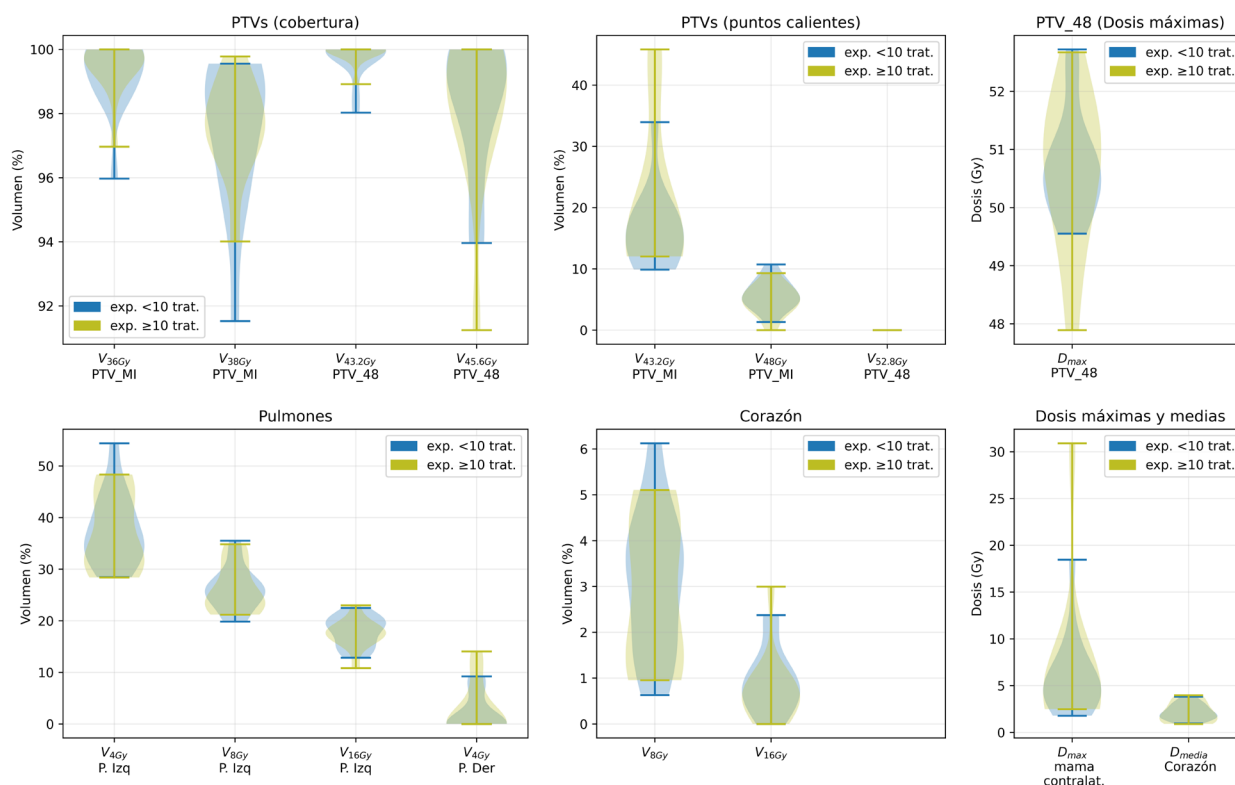


Fig. 11. Comparativa de los distintos criterios dosimétricos indicados en el ensayo clínico RTOG 1005 en función de la experiencia previa del alumno, para simulación en RL (N = 24).

mentados han solicitado ayuda de otros compañeros con más experiencia antes de realizar el ejercicio. En cualquier caso, para poder determinar cuál es la mejor técnica, probablemente sería necesario repetir el ejercicio por personal experimentado y más homogéneo y con una cantidad de participantes mayor.

5.2. Comparativa con la literatura

La realización completa del ejercicio ha sido realizada por la mayoría de los participantes (35 de 43), si bien dos de ellos no consiguieron alcanzar un resultado aceptable para su tratamiento clínico. Esto contrasta con el éxito en la consecución de los objetivos de otros estudios similares,¹ en los que se alcanzó un 100% de éxito entre los participantes. Esta diferencia podría deberse a que los participantes de este curso suelen estar en su primer o segundo año de residencia, y aún no han completado la mitad de su período formativo. Además, es posible que no se haya coordinado adecuadamente con las unidades docentes de procedencia para garantizar que un experto les proporcionara previamente una explicación sobre el uso del equipamiento disponible en su hospital, como se hizo

en el estudio de referencia. Las restricciones de dosis correspondientes a RTOG 1005 se han conseguido en la mayoría de los casos, salvo para la mama contralateral, donde la dosis máxima se recomienda que no sobrepase 2.64 Gy. Otros estudios también han constatado la dificultad para alcanzar esta restricción de dosis²² y han determinado que la técnica 3DCRT^{23,24} es la que presenta más dificultad en conseguir cumplir este requerimiento.

Respecto a las técnicas de simulación, podemos comentar que DEGRO recomienda el uso de la IF para reducir la dosis en el corazón si se trata de la mama izquierda,¹⁹ lo que está en coincidencia con nuestros resultados, en los que se puede observar que existe una diferencia estadísticamente significativa para una mejor cobertura y menores dosis a los OARs (V16Gy, V8Gy y V4Gy para pulmón y V16Gy, V8Gy y dosis media en el corazón en tabla 2 y fig. 7) si se utiliza IF. No obstante, en nuestro estudio no se ha valorado la variabilidad en el posicionamiento diario si se usa inspiración forzada y los resultados hacen referencia a una única paciente, cuya anatomía permite una separación considerable del corazón al utilizar IF a la vez que un aumento importante del volumen del pulmón.

6. Conclusiones

Los profesores del módulo 4 del Diploma de Experto en Fundamentos de Física Médica 2023-2024, organizado por la SEFM y la UNIA, hemos propuesto un ejercicio para demostrar el aprendizaje de las competencias en la planificación de tratamientos de radioterapia que ha sido realizado con éxito por la mayoría de los alumnos. Los resultados obtenidos permiten deducir que, tras el curso, la gran mayoría de los residentes son capaces de realizar una planificación de una paciente con cáncer de mama, aunque los residentes con menos experiencia han requerido ayuda de otros compañeros de sus unidades docentes. Este ejercicio les ha permitido apreciar la mejora en el tratamiento introducida por la técnica de IF, que en la totalidad de los casos ha permitido reducir la dosis a los OARs (pulmón y corazón) sin comprometer la cobertura de los PTVs.

Asimismo, se ha reflejado la variedad de disponibilidad de equipamiento y sistemas de planificación de las distintas unidades docentes.

De las técnicas empleadas, las planificaciones en 3D han mostrado, en general, los volúmenes más reducidos de pulmón y corazón irradiados a bajas dosis (V8Gy y V4Gy para pulmón izquierdo, y V8Gy para corazón), y la dosis media en corazón significativamente menor manteniendo coberturas similares de los PTVs.

En condiciones de IF, se observaron diferencias estadísticamente significativas en los parámetros V8Gy y V4Gy del pulmón izquierdo, así como en la dosis media en el corazón, con valores más elevados en VMAT en comparación con 3D. Además, VMAT presentó también mayores dosis medias en el corazón frente a IMRT. En condiciones de RL, se hallaron diferencias significativas en V8Gy de pulmón izquierdo, así como en V8Gy y en la dosis media en el corazón entre VMAT y 3D, siendo de nuevo VMAT la técnica con valores más altos.

Los resultados obtenidos en este trabajo han permitido recopilar datos de interés relevantes para los profesionales del ámbito de la física médica. Este material constituye un recurso docente valioso que puede ser de utilidad para las unidades docentes en la formación de su personal, tanto de residentes de radiofísica como de técnicos dosimetristas.

Además, se ha evidenciado la existencia de múltiples enfoques en la planificación del tratamiento del cáncer de mama y las diferencias que se pueden obtener para un mismo paciente según la técnica empleada. Este hallazgo resalta la importancia de establecer criterios uniformes de evaluación y comparación.

Por último, cabe destacar que este primer caso práctico se plantea como el origen de una posible base de datos anonimizada en línea y multiinstitucional. Dicha base de datos, cumpliendo todos los requisitos legales y éticos, podría convertirse en una herramienta

formativa muy útil para mejorar la formación de los residentes. Esto resulta especialmente relevante dado que su formación se realiza esencialmente en una única unidad docente. Contar con una base de datos validada por un grupo de expertos y enriquecida por la experiencia de años anteriores podría ofrecerles una visión más amplia sobre cómo se aborda esta técnica en diferentes unidades docentes.

Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento a la paciente que ha cedido sus datos y a todos los centros participantes. Sus esfuerzos y colaboración han sido fundamentales para el éxito de esta investigación.

Declaración de conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflictos de intereses relacionados con la investigación presentada en este artículo.

Información de contacto

Para obtener más información sobre este estudio o para colaborar en futuras investigaciones, por favor contacte con Antonio López Medina en antonio.lopez.medina@sergas.es.

Bibliografía

1. Roumeliotis M, Morrison H, Conroy L, et al. Competency-Based Medical Education in Radiation Therapy Treatment Planning. *Pract Radiat Oncol* 2022;12(3):e232-e238; doi: 10.1016/j.prro.2021.12.003.
2. Colmenares R, Angulo-Paín E, Brualla-González L, et al. Medical Physics in Spain: Current status and challenges. *Medical Physics International* 2021; 9(2) (<https://www.efomp.org/uploads/c81540e6-c95d-4ae0-ba3b-844714aba9e/MPI-2021-02.pdf>).
3. Garibaldi C, Essers M, Heijmen B, et al. The 3rd ESTRO-EFOMP core curriculum for medical physics experts in radiotherapy. *Radiother Oncol* 2022;170:89-94; doi: 10.1016/j.radonc.2022.02.012.
4. Moideen N, De Metz C, Kalyvas M, et al. Aligning Requirements of Training and Assessment in Radiation Treatment Planning in the Era of Competency-Based Medical Education. *Int J Radiat Oncol* 2020;106(1):32-36; doi: 10.1016/j.ijrobp.2019.10.005.
5. Fiorino C, Guckenberger M, Schwarz M, et al. Technology-driven research for radiotherapy innovation. *Mol Oncol* 2020;14(7):1500-1513; doi: 10.1002/1878-0261.12659.
6. García Romero A, Hernández Masgrau V, Baeza Trujillo M, et al. Resultados de la encuesta de la Sociedad Española de Física Médica sobre de control de calidad de sistemas de

- planificación de tratamientos en el ámbito de haces de fotones y electrones de radioterapia externa. *Rev Física Médica* 2021;2(22):55–66; doi: 10.37004/sefm/2021.22.2.006.
7. Bortfeld T. IMRT: a review and preview. *Phys Med Biol* 2006;51(13):R363–R379; doi: 10.1088/0031-9155/51/13/R21.
 8. Otto K. Volumetric modulated arc therapy: IMRT in a single gantry arc. *Med Phys* 2008;35(1):310–317; doi: 10.1118/1.2818738.
 9. Zhang Q, Liu J, Ao N, et al. Secondary cancer risk after radiation therapy for breast cancer with different radiotherapy techniques. *Sci Rep* 2020;10(1):1220; doi: 10.1038/s41598-020-58134-z.
 10. Racka I, Majewska K, Winiecki J. Three-dimensional conformal radiotherapy (3D-CRT) vs. volumetric modulated arc therapy (VMAT) in deep inspiration breath-hold (DIBH) technique in left-sided breast cancer patients—comparative analysis of dose distribution and estimation of projected secondary cancer risk. *Strahlenther Onkol* 2023;199(1):90–101; doi: 10.1007/s00066-022-01979-2.
 11. Koivumäki T, Heikkilä J, Väänänen A, et al. Flattening filter free technique in breath-hold treatments of left-sided breast cancer: The effect on beam-on time and dose distributions. *Radiother Oncol* 2016;118(1):194–198; doi: 10.1016/j.radonc.2015.11.032.
 12. Heikkilä A, Boman E, Rossi M, et al. Dosimetric effect of rotational setup errors in volumetric modulated arc therapy and field-in-field treatment of left-sided breast cancer. *Phys Med* 2024;117:103203; doi: 10.1016/j.ejmp.2023.103203.
 13. Koivumäki T, Fogliata A, Zeverino M, et al. Dosimetric evaluation of modern radiation therapy techniques for left breast in deep-inspiration breath-hold. *Phys Med* 2018;45:82–87; doi: 10.1016/j.ejmp.2017.12.009.
 14. Mankinen M, Virén T, Seppälä J, et al. Dosimetric effect of respiratory motion on planned dose in whole-breast volumetric modulated arc therapy using moderate and ultra-hypofractionation. *Radiat Oncol* 2022;17(1):46; doi: 10.1186/s13014-022-02014-5.
 15. Huijskens S, Granton P, Fremeijer K, et al. Clinical practicality and patient performance for surface-guided automated VMAT gating for DIBH breast cancer radiotherapy. *Radiother Oncol* 2024;195:110229; doi: 10.1016/j.radonc.2024.110229.
 16. Meattini I, Becherini C, Boersma L, et al. European Society for Radiotherapy and Oncology Advisory Committee in Radiation Oncology Practice consensus recommendations on patient selection and dose and fractionation for external beam radiotherapy in early breast cancer. *Lancet Oncol* 2022;23(1):e21–e31; doi: 10.1016/S1470-2045(21)00539-8.
 17. Hurkmans C, Duisters C, Peters-Verhoeven M, et al. Harmonization of breast cancer radiotherapy treatment planning in the Netherlands. *Tech Innov Patient Support Radiat Oncol* 2021;19:26–32; doi: 10.1016/j.tipsro.2021.06.004.
 18. Milligan MG, Zieminski S, Johnson A, et al. Target coverage and cardiopulmonary sparing with the updated ESTRO-ACROP contouring guidelines for postmastectomy radiation therapy after breast reconstruction: a treatment planning study using VMAT and proton PBS techniques. *Acta Oncol* 2021;60(11):1440–1451; doi: 10.1080/0284186X.2021.1957499.
 19. Breast Cancer Expert Panel of the German Society of Radiation Oncology (DEGRO), Duma M-N, Baumann R, et al. Heart-sparing radiotherapy techniques in breast cancer patients: a recommendation of the breast cancer expert panel of the German society of radiation oncology (DEGRO). *Strahlenther Onkol* 2019;195(10):861–871; doi: 10.1007/s00066-019-01495-w.
 20. Radiation Therapy Oncology Group. A Phase III Trial of Accelerated Whole Breast Irradiation With Hypofractionation Plus Concurrent Boost Versus Standard Whole Breast Irradiation Plus Sequential Boost for Early-Stage Breast Cancer. Clinical trial registration. [clinicaltrials.gov](https://clinicaltrials.gov/NCT01349322) NCT01349322; 2024.
 21. Offersen BV, Boersma LJ, Kirkove C, et al. ESTRO consensus guideline on target volume delineation for elective radiation therapy of early stage breast cancer. *Radiother Oncol* 2015;114(1):3–10; doi: 10.1016/j.radonc.2014.11.030.
 22. Chen G-P, Liu F, White J, et al. A planning comparison of 7 irradiation options allowed in RTOG 1005 for early-stage breast cancer. *Med Dosim* 2015;40(1):21–25; doi: 10.1016/j.meddos.2014.06.007.
 23. Li XA, Moughan J, White JR, et al. Patterns of Failure Observed in the 2-Step Institution Credentialing Process for NRG Oncology/Radiation Therapy Oncology Group 1005 (NCT01349322) and Lessons Learned. *Pract Radiat Oncol* 2020;10(4):265–273; doi: 10.1016/j.prro.2019.11.007.
 24. Rago M, Placidi L, Polsoni M, et al. Evaluation of a generalized knowledge-based planning performance for VMAT irradiation of breast and locoregional lymph nodes—Internal mammary and/or supraclavicular regions. *PLOS ONE* 2021;16(1):e0245305; doi: 10.1371/journal.pone.0245305.

VersaHD.

Powered by high definition dynamic radiosurgery.

Versa HD™ with Monaco® gives you the clinical flexibility of high definition dynamic radiosurgery (HDRS) and conventional RT in a single platform. HDRS means you can deliver stereotactic treatments within standard RT time slots, regardless of anatomy or complexity. And, with advanced image guidance tools and up to 5x less transmission to non-targeted regions, you have assurance of end-to-end precision.

Discover how Versa HD can help you meet operational efficiencies while achieving better outcomes for patients.

elekta.com/VersaHD



Focus where it matters.

4513 371 1539 03.17

 Elekta

Cálculo del periodo de restricciones tras el alta radiológica de pacientes sometidos a terapia metabólica con [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617

Estimation of the restriction period after radiological discharge of patients undergoing metabolic therapy with [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE and [^{177}Lu]Lu-PSMA-617

Isabel Gayol Vilorio^{1,*}, Daniel Alexander Musson Gómez¹, José Antonio Cuesta Reina², José Miguel Megías Ruiz³, José Carlos Barba Pérez¹, Ana Belén Morcillo García¹, Cristina González Ruiz¹, Fernando Sierra Díaz¹

¹ Hospital General Universitario Gregorio Marañón (HGUGM).

² Clínica Universidad de Navarra, Madrid.

³ Instituto Catalán de Oncología, Gerona.

Fecha de Recepción: 23/01/2025 - Fecha de Aceptación: 24/09/2025

En 2011, el CSN, la SEPR y la SEFM consensuaron un documento sobre los criterios de alta para pacientes tratados con I-131.¹ Sin embargo, a pesar del auge de las terapias metabólicas, no existen informes similares para otros radionucleidos. Por ello, el objetivo de este trabajo ha sido establecer periodos de restricciones en tratamientos con [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617, siguiendo la metodología empleada en dicho documento y considerando el número de ciclos por tratamiento, como recomienda el CSN.² Como resultado, se elaboraron cuatro tablas que permiten determinar de forma sencilla, para cada radiofármaco y según el momento del alta radiológica, los días de restricciones en función de la tasa de dosis a 1 metro al alta y de la situación sociolaboral del paciente. En comparación con los pacientes metastásicos tratados con I-131,¹ se observó que, aunque la eliminación del Lu-177 es más rápida, al tener en cuenta el número total de ciclos por tratamiento, las restricciones obtenidas son más prolongadas. Esto resalta la necesidad de revisar los criterios de alta de estos pacientes para optimizar la protección radiológica de su entorno, que estará expuesto a 4-6 eventos de radiación en un periodo inferior a un año (6-8 meses).

Palabras clave: [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE, tumores neuroendocrinos, [^{177}Lu]Lu-PSMA-617, cáncer de próstata metastásico resistente a la castración, periodo de restricciones.

In 2011, the CSN (Nuclear Safety Council), SEPR (Spanish Society for Radiological Protection), and SEFM (Spanish Society of Medical Physics) published a consensus document on release criteria for patients treated with I-131.¹ However, despite the increasing use of metabolic therapies, no similar document exists for other radionuclides. Therefore, this study aims to establish restriction periods for [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE and [^{177}Lu]Lu-PSMA-617 treatments, applying the methodology of the above mentioned document while accounting for the number of cycles per treatment, as recommended by the CSN.² As a result, four tables – categorized by radiopharmaceutical type and time of radiological discharge – were developed to facilitate the determination of restriction periods based on the release dose rate at 1 meter and the patient's social and occupational situation. Compared to metastatic patients treated with I-131,¹ it was found that although the clearance of Lu-177 is faster, considering the total number of treatment cycles results in longer overall restrictions. This finding underscores the need to review current release criteria of these patients to optimize the radiological protection of relatives and co-workers, who may be exposed to 4–6 radiation events within a 6–8-month period.

Key words: [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE, neuroendocrine tumours, [^{177}Lu]Lu-PSMA-617, metastatic castration-resistant prostate cancer, restriction period.

*Correspondencia: igayol7@gmail.com

<https://doi.org/10.37004/sefm/2025.26.2.002>

Introducción

El desarrollo de nuevos radioligandos dirigidos a receptores de hormonas o proteínas sobreexpresadas en pacientes con una determinada patología cancerígena ha supuesto que cada vez se estén explorando más tratamientos de terapia metabólica con radiofármacos.³ Actualmente, tras haber sido demostrada su eficacia en varios ensayos clínicos,⁴⁻⁶ existen dos radiofármacos basados en Lu-177 que cuentan con la aprobación de la Agencia Española de Medicamentos y Productos Sanitarios para su uso dentro de la práctica clínica habitual: [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE y [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617. El [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE se emplea como terapia para pacientes diagnosticados con tumores neuroendocrinos que expresan receptores de somatostatina. Dicho tratamiento consta de 4 ciclos de una infusión de 7.4 GBq de [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE cada 8 semanas. Previamente a la administración del radiofármaco, a estos pacientes se les suministra una infusión concomitante de aminoácidos como método para disminuir la captación renal del medicamento.⁷ De forma posterior se aprobó el uso del [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 para el tratamiento de pacientes con cáncer de próstata metastásico resistente a la castración. En este caso, la terapia consiste en 6 ciclos de una infusión de 7.4 GBq de [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 espaciados 6 semanas.⁸

Sin embargo, y a pesar del aumento de pacientes sometidos a este tipo de tratamientos en los últimos años, no existe a nivel nacional un criterio consensuado sobre la duración del periodo con restricciones que deben cumplir estos pacientes una vez que reciben el alta hospitalaria, como sí existe para las terapias metabólicas con I-131. Probablemente debido al mayor recorrido histórico de este radiofármaco, ya en 2011 el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR) y la Sociedad Española de Física Médica (en el contexto del Foro de Protección Radiológica en el Medio Sanitario formado en 2001) consensuaron un documento sobre los “Criterios de alta de pacientes y medidas para la protección radiológica del público después de tratamientos metabólicos con I131”.¹ Dicho informe ofrece tablas orientativas que permiten al lector estimar la duración del periodo con restricciones que debe seguir el paciente en función de la tasa de equivalente de dosis ambiental a 1 metro en el momento del alta y de su situación familiar y sociolaboral. En concreto, se proporcionan 3 tablas distintas, distinguiendo entre tratamientos de hipertiroidismo y de cáncer de tiroides con y sin metástasis, que conllevan diferentes periodos de semidesintegración efectiva y, por lo tanto, distintos periodos con restricciones.

Podría ser razonable pensar que dichas tablas se pueden emplear en el caso de terapias metabólicas con Lu-177, esperando que, al ser la semivida física

del Lu-177 (6.7 días) inferior a la del I-131 (8 días),⁹ también lo fuese la semivida efectiva y, por lo tanto, se estuviese adoptando un enfoque conservador al hacer uso de estas recomendaciones. Sin embargo, de esta forma no se tiene en cuenta que, a diferencia de los tratamientos con I-131 consistentes, generalmente, una única aplicación, un tratamiento completo con Lu-177 se administra en 4 o 6 ciclos a lo largo de 6-8 meses, lo que implica un aumento en el nivel de exposición del entorno del paciente, especialmente de sus familiares más cercanos. Inevitablemente, éste es un factor que hay que considerar al establecer restricciones al alta en este tipo de terapias y, de hecho, así lo ha reiterado el CSN en la circular informativa nº 2/2024, donde insiste en que “la tasa de dosis al alta de los pacientes tratados deberá tener en cuenta el número de ciclos que se prescriben al paciente para que la dosis a las personas de su entorno no suponga un riesgo de exposición radiológica significativo”.²

En este contexto, el objetivo del presente trabajo ha sido establecer periodos de restricciones para los tratamientos de terapia metabólica con [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE y [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617 en función de la tasa de equivalente de dosis ambiental a 1 metro en el momento del alta y de la situación familiar y sociolaboral del paciente, adoptando el enfoque y la metodología que en su día siguieron el CSN, la SEFM y la SEPR para los tratamientos metabólicos con I-131.¹

Material y métodos

Nivel de restricción de dosis

El periodo de restricciones a partir del momento del alta radiológica se ha calculado reproduciendo el fundamento seguido por el CSN-SEPR-SEFM.¹ Las condiciones al alta se han establecido de forma que las personas del entorno del paciente no superen un determinado nivel de restricción de dosis (RD) por curso de tratamiento, es decir, considerando el conjunto de ciclos asociados a dicho tratamiento. En la Tabla 1 se muestra la RD establecida para cada colectivo afectado, en función de su edad y relación con el paciente. Estos valores son análogos a los utilizados en el documento de recomendaciones para I-131 del Foro de Protección Radiológica¹ (PR), salvo en el caso de adultos mayores de 60 años, para los que se ha propuesto una RD de 5 mSv/tratamiento siguiendo las recomendaciones de la Publicación 103 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP, por sus siglas en inglés);¹⁰ y en el caso de niños mayores de 11 años, para los que se ha adoptado una RD de 1 mSv/tratamiento al considerar razonable aplicarles el mismo valor de RD que a los niños más pequeños. Además,

Tabla 1. Resumen de los supuestos asumidos en el cálculo para cada uno de los colectivos considerados. Se detalla la restricción de dosis (RD) por tratamiento (para el conjunto de ciclos que lo componen), así como las condiciones de convivencia normales y en periodo de restricciones. Para cada conjunto de condiciones se han obtenido factores (f_n y f_r , respectivamente) que permiten corregir la exposición en función de la distancia al paciente y de la fracción de día pasada en compañía del mismo.

		RD (mSv/tto.)	Condiciones normales de convivencia	f_n	Condiciones en periodo de restricciones	f_r
Pareja	Embarazada	1	6 h a 1 m, 8 h a 0.1 m	2.33	3 h a 1.5 m	0.06
	< 60 años	3			6 h a 1 m	0.25
	> 60 años	5			6 h a 1 m	0.25
Niños	< 1 año	1	15 periodos de 35 min a 0.1 m	2.28	3 h a 1.5 m	0.06
	1-2 años		15 periodos de 35 min a 0.1 m	2.28	3 h a 1.5 m	0.06
	2-5 años		4 h a 0.1 m, 8 h a 1 m	1.38	5 h a 1.5 m	0.09
	5-11 años		2 h a 0.1 m, 4 h a 1 m	0.69	5 h a 1.5 m	0.09
	> 11 años		1 h a 0.1 m, 4 h a 1 m	0.43	3 h a 1.5 m	0.06
Trabajo	General	0.3	8 h a 1 m	0.33	0 h	0
	Con niños		3 h a 1 m, 3 h a 0.1 m	0.91	0 h	0

se ha introducido un nuevo colectivo para contemplar la posibilidad de que la pareja del paciente estuviese en situación de gestación, en cuyo caso sería razonable aplicarle la misma RD que para los niños menores de 1 año.

Condiciones de convivencia

Para la estimación del periodo de restricciones se han introducido dos factores que permiten corregir la exposición del individuo en función de las condiciones de convivencia normal (f_n) y durante el periodo de restricciones (f_r) detalladas en la Tabla 1 para cada uno de los colectivos considerados en el cálculo. En el caso de la convivencia habitual se han adoptado las condiciones propuestas por Barrington et al.¹¹ por ser más conservadoras que las propuestas en el documento del Foro,¹ mientras que para la convivencia durante el periodo de restricciones se han utilizado las condiciones planteadas en éste. A partir de estos supuestos, se han obtenido los factores f_n y f_r mostrados en la Tabla 1 utilizando la siguiente ecuación:

$$f = \frac{h}{24} \cdot \left(\frac{1}{d} \right)^2 \quad (1)$$

donde h representa el número de horas diarias pasadas en compañía del paciente a la distancia d (en metros). Como a distancias cortas no se cumple la ley del inverso del cuadrado de la distancia, y su aplicación directa conduciría a una sobreestimación del nivel de exposi-

ción, la permanencia a distancias cercanas o en contacto con el paciente (0.1 m), se ha corregido aplicando un factor 0.4^{-2} en lugar de 0.1^{-2} . Este mismo criterio se utilizó también en el documento de recomendaciones para I-131 elaborado por el Foro de PR.¹ Las distancias superiores a 1 metro, sin embargo, sí se corrigieron con el inverso del cuadrado de la distancia.

Cálculo del periodo de restricciones

En los tratamientos con [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE y [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617, la evolución de la tasa de equivalente de dosis ambiental, \dot{H}^* (10), puede describirse mediante un modelo biexponencial con una fase rápida y otra lenta de eliminación.¹² Teniendo esto en cuenta, se han planteado dos posibles escenarios a la hora de calcular el periodo de restricciones: que el alta se efectúe el mismo día del tratamiento (aproximadamente 6 h después de la administración, de acuerdo a lo establecido en la circular del CSN²), en cuyo caso es necesario considerar la componente de eliminación rápida, que no será despreciable,^{12,13} o que el alta se produzca el día posterior a la administración (aproximadamente 24 horas post-infusión), momento en el que la fase rápida de eliminación sí se puede considerar despreciable frente a la fase lenta.

Aunque la evolución de la tasa de \dot{H}^* (10) pueda describirse a partir de un modelo biexponencial, por simplicidad a la hora de determinar los parámetros libres, la eliminación del radiofármaco se ha caracterizado como una monoexponencial de dos tramos: un tramo temprano con periodo de semidesintegración

$T_{ef,1}$, que transcurre desde el alta hasta τ horas después de la misma, y se corresponde con el periodo durante el cual la fase de eliminación rápida no es aún despreciable;^{12,13} y otro tardío, desde τ horas en adelante, en el que dominará principalmente la eliminación lenta con un periodo efectivo de semidesintegración $T_{ef,2}$. Como, de acuerdo con la bibliografía, la fase de eliminación rápida se puede considerar despreciable a partir de las 24 h tras la infusión del fármaco,^{12,13} el parámetro τ se puede definir como el tiempo transcurrido desde el alta (que puede variar entre centros) hasta las 24 h post-administración.

De este modo, la duración del periodo de restricciones tras el alta (t_f), aplicable a cada colectivo según el RD que le corresponda se obtiene resolviendo la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{RD}{c} \geq & \int_0^{\tau} f_r \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{ef,1}}} dt \\ & + \int_0^{t'_f} f_r \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot \tau}{T_{ef,1}}} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{ef,2}}} dt \\ & + \int_{t'_f}^{\infty} f_n \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot \tau}{T_{ef,1}}} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{ef,2}}} dt \end{aligned} \quad (2)$$

donde c representa el número de ciclos por tratamiento (4 y 6 para [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE y [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617, respectivamente), f_r y f_n corresponden a los factores de corrección anteriormente descritos, $\dot{H}^*(10)_{1m}$ representa la tasa de equivalente de dosis ambiental a 1 metro medida en el momento del alta; τ , $T_{ef,1}$ y $T_{ef,2}$ se han definido previamente, y t'_f se define como $t'_f = t_f - \tau$, siendo t_f la duración del periodo de restricciones tras el alta.

En la expresión anterior se han considerado tres contribuciones distintas a la exposición de las personas del entorno del paciente (correspondientes a las tres integrales): la primera, correspondiente a las τ horas posteriores al alta, cuando todavía persiste cierta componente de eliminación rápida ($T_{ef,1}$) y el paciente mantiene unas condiciones de convivencia restringidas (f_r); la segunda, correspondiente a la parte restante del periodo de restricciones ($t_f - \tau$), donde la eliminación es más lenta ($T_{ef,2}$) y se mantienen las restricciones (f_r); y por último, una tercera aportación que se corresponde con la exposición acumulada tras el fin del periodo de restricciones, cuando el paciente recupera las condiciones de convivencia normales (f_n) y el radiofármaco se sigue eliminando de forma lenta ($T_{ef,2}$).

Despejando el parámetro t'_f en la ec. (2) se obtiene la siguiente expresión, que permite calcular la duración del periodo de restricciones considerando que $t_f = t'_f + \tau$:

$$t_f = \tau + \frac{T_{ef,2}}{\ln(2)} \quad (3)$$

$$\ln \left[\frac{\dot{H}^*(10)_{1m} \cdot T_{ef,2} \cdot (f_n - f_r) \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot \tau}{T_{ef,1}}}}{\ln(2) \cdot \frac{RD}{c} - f_r \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot \left(T_{ef,1} + e^{-\frac{\ln(2) \cdot \tau}{T_{ef,1}}} \cdot (T_{ef,2} - T_{ef,1}) \right)} \right]$$

Escenario 1: alta a las 6 h

Se ha considerado la posibilidad de que el paciente reciba el alta radiológica transcurridas 6 h desde la administración del radiofármaco, que se corresponde con el ingreso mínimo establecido por el CSN en su circular informativa.² En este escenario la fase de eliminación rápida no es despreciable y cabe esperar que la tasa a 1 metro todavía descienda rápidamente en las horas posteriores. Para el cálculo se ha empleado la ec. (3), considerando que el alta se produce a las 6 h de la infusión y estableciendo, por lo tanto, un valor $\tau = 18$ h.

Escenario 2: alta a las 24 h

Al ser una práctica habitual en algunos centros, se ha planteado también la posibilidad de que el alta radiológica se reciba 24 h después de la administración, momento a partir del cual la eliminación dominante se corresponde con fase lenta ($T_{ef,2}$). En este escenario, por lo tanto, el valor de τ es 0, y la ec. (2) se puede simplificar a la siguiente expresión:

$$\begin{aligned} \frac{RD}{c} \geq & \int_0^{t_f} f_r \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{ef,2}}} dt \\ & + \int_{t_f}^{\infty} f_n \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot e^{-\frac{\ln(2) \cdot t}{T_{ef,2}}} dt \end{aligned} \quad (4)$$

donde c , f_r , f_n , $\dot{H}^*(10)_{1m}$ y $T_{ef,2}$ han sido definidas anteriormente.

Despejando la ec. (4) se obtiene la siguiente ecuación que permite calcular directamente la duración del periodo de restricciones (t_f) para este escenario:

$$t_f = \frac{T_{ef,2}}{\ln(2)} \ln \left[\left(\frac{\dot{H}^*(10)_{1m} \cdot T_{ef,2} \cdot (f_n - f_r)}{\ln(2) \cdot \frac{RD}{c} - f_r \cdot \dot{H}^*(10)_{1m} \cdot T_{ef,2}} \right) \right] \quad (5)$$

Tabla 2. Recopilación de los tiempos de eliminación (semivida efectiva, T_{ef}) reportados en la literatura¹³⁻²² para las diferentes fases y ajustes considerados.

		Ajuste monoexponencial		Ajuste biexponencial	
		$T_{ef,mono,temprana}$ (h)	$T_{ef,mono,tardía}$ (h)	$T_{ef,bi,rápida}$ (h)	$T_{ef,bi,lenta}$ (h)
$[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$	Sandström et al. ¹⁴	—	—	1.3*	49.5*
	Montserrat et al. ¹⁵	25 [†]	58*	—	—
	Fitschen et al. ¹⁶	—	55*	—	—
	Wehrmann et al. ¹⁷	—	—	2.5*	56.1*
	Lu et al. ¹⁸	—	—	1.4*	55.2*
$[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-PSMA-617}$	Kurth et al. ¹³	26 [†]	38.4 [†]	1.7 [†]	41.1 [†]
	Parlak et al. ¹⁹	18.5 [†]	48.1 [†]	—	—
	Kulkarni et al. ²⁰	—	54 [†]	—	—
	Sarnelli et al. ²¹	—	—	—	52.4*, 40.1 [†]
	Schuchardt et al. ²²	—	—	—	42*

*Media; [†] Mediana

Periodos de eliminación efectivos

En la Tabla 2 se han recopilado los tiempos efectivos de eliminación (T_{ef}) publicados en la literatura¹³⁻²² para $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ y $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-PSMA-617}$, distinguiendo entre aquellos trabajos donde se ha realizado un ajuste monoexponencial por tramos (temprano y tardío) o biexponencial (con una fase lenta y otra rápida).

Con el objetivo de establecer limitaciones suficientemente conservadoras, en el cálculo del periodo de

restricciones se ha utilizado la mediana de los valores reportados en la bibliografía: para el parámetro $T_{ef,1}$ se ha adoptado la mediana de los T_{ef} obtenidos mediante un ajuste monoexponencial de medidas realizadas en las 12-24 h post-infusión, representativas de una fase temprana efectiva, pero no equivalentes a la fase rápida de un modelo biexponencial (25 h y 22 h para $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ y $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-PSMA-617}$, respectivamente); mientras que en el caso del parámetro $T_{ef,2}$ se ha utilizado la mediana de los tiempos T_{ef} disponibles para

Tabla 3. Días de restricciones para tratamientos con $[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ en función de la medida de $\dot{H}^*(10)$ en el momento del alta radiológica y de la situación sociofamiliar del paciente, incluyendo la edad en años (a) de sus convivientes. Valores aplicables cuando el alta se produce el propio día de la administración (6 horas post-tratamiento aproximadamente).

$[^{177}\text{Lu}]\text{Lu-DOTA-TATE}$ - ALTA 6 h POST-INFUSIÓN ($T_{ef,1}=25$ h, $T_{ef,2}=55$ h, 4 ciclos/tto.)									
Tasa de dosis al alta ($\mu\text{Sv/h}$) a 1 m	Pareja			Niños [†]				Trabajo ^{††}	
	Embarazada*	< 60 a**	> 60 a**	< 2 a	2-5 a	5-11 a	> 11 a	General	Con niños
[0, 5]	4	0	0	4	2	0	0	1	4
(5, 7.5]	5	1	0	5	3	1	0	2	6
(7.5, 10]	6	2	0	6	5	2	0	3	7
(10, 12.5]	7	3	1	7	6	3	1	4	7
(12.5, 15]	8	4	2	8	6	4	2	5	8
(15, 17.5]	8	5	3	8	7	5	2	5	8
(17.5, 20]	9	6	3	9	8	6	3	6	9
(20, 25]	10	7	4	10	10	7	4	6	10
(25, 30]	11	9	5	11	11	9	5	7	10

*Dormir sin compañía y limitar contacto, **dormir sin compañía, [†]limitar contacto con niños, ^{††}no acudir al trabajo

Tabla 4. Días de restricciones para tratamientos con [^{177}Lu]Lu-PSMA-617 en función de la medida de \dot{H}^* (10) en el momento del alta radiológica y de la situación sociofamiliar del paciente incluyendo la edad en años (a), de sus convivientes. Valores aplicables cuando el alta se produce el propio día de la administración (6 horas post-tratamiento aproximadamente).

[^{177}Lu]Lu-PSMA-617 - ALTA 6 h POST-INFUSIÓN ($T_{\text{ef},1}=22$ h, $T_{\text{ef},2}=42$ h, 6 ciclos/tto.)									
Tasa de dosis al alta ($\mu\text{Sv/h}$) a 1 m	Pareja			Niños [†]				Trabajo ^{††}	
	Embarazada*	< 60 a**	> 60 a**	< 2 a	2-5 a	5-11 a	> 11 a	General	Con niños
[0, 5]	3	0	0	3	2	0	0	1	4
(5, 7.5]	4	1	0	4	3	1	0	2	5
(7.5, 10]	5	2	1	5	4	2	1	3	5
(10, 12.5]	6	3	1	6	5	3	1	3	6
(12.5, 15]	6	4	2	6	6	4	2	4	6
(15, 17.5]	7	4	3	7	6	4	2	4	7
(17.5, 20]	7	5	3	7	7	5	3	5	7
(20, 25]	8	6	4	8	8	6	4	5	8
(25, 30]	9	8	5	9	10	8	5	6	8

*Dormir sin compañía y limitar contacto, **dormir sin compañía, [†]limitar contacto con niños, ^{††}no acudir al trabajo

la fase lenta de eliminación, tanto si se han obtenido mediante un ajuste biexponencial (considerando la componente lenta) como un ajuste monoexponencial de medidas tardías (55 h y 42 h para [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617, respectivamente). Se ha optado por utilizar la mediana al ser un estimador menos sensible a valores extremos que la media, y por lo tanto más robusto frente a la presencia de *outliers*.

Resultados

Escenario 1: alta a las 6 h

En la Tabla 3 y la Tabla 4 se muestra el periodo de restricciones obtenido para tratamientos [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617 en función de la edad de los convivientes del paciente y de la medida de

Tabla 5. Días de restricciones para tratamientos con [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE en función de la medida de \dot{H}^* (10) en el momento del alta radiológica y de la situación sociofamiliar del paciente incluyendo la edad en años (a), de sus convivientes. Valores aplicables cuando el alta se produce pasadas 24 horas de la infusión (aproximadamente).

[^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE - ALTA 24 h POST-INFUSIÓN ($T_{\text{ef},1}=25$ h, $T_{\text{ef},2}=55$ h, 4 ciclos/tto.)									
Tasa de dosis al alta ($\mu\text{Sv/h}$) a 1 m	Pareja			Niños [†]				Trabajo ^{††}	
	Embarazada*	< 60 a**	> 60 a**	< 2 a	2-5 a	5-11 a	> 11 a	General	Con niños
[0, 5]	5	1	0	5	3	1	0	2	6
(5, 7.5]	7	3	1	6	5	2	1	4	7
(7.5, 10]	8	4	2	8	6	4	2	5	8
(10, 12.5]	9	5	3	9	7	5	3	5	9
(12.5, 15]	9	6	4	9	8	6	3	6	9
(15, 17.5]	10	7	4	10	9	7	4	7	10
(17.5, 20]	11	8	5	11	10	8	5	7	10
(20, 25]	12	10	6	12	13	10	6	8	11
(25, 30]	13	12	7	13	16	13	7	8	12

*Dormir sin compañía y limitar contacto, **dormir sin compañía, [†]limitar contacto con niños, ^{††}no acudir al trabajo

Tabla 6. Días de restricciones para tratamientos ^{177}Lu Lu-PSMA-617 en función de la medida de $\dot{H}^*(10)$ en el momento del alta radiológica y de la situación sociofamiliar del paciente incluyendo la edad en años (a), de sus convivientes. Valores aplicables cuando el alta se produce pasadas 24 horas de la infusión (aproximadamente).

^{177}Lu Lu-PSMA-617 - ALTA 24 h POST-INFUSIÓN ($T_{\text{ef},1}=22$ h, $T_{\text{ef},2}=42$ h, 6 ciclos/tto.)									
Tasa de dosis al alta ($\mu\text{Sv/h}$) a 1 m	Pareja			Niños [†]				Trabajo ^{††}	
	Embarazada*	< 60 a**	> 60 a**	< 2 a	2-5 a	5-11 a	> 11 a	General	Con niños
[0, 5]	4	2	0	4	3	1	0	2	5
(5, 7.5]	6	3	1	5	4	2	1	3	6
(7.5, 10]	6	4	2	6	5	3	2	4	7
(10, 12.5]	7	5	3	7	6	4	3	5	7
(12.5, 15]	8	5	3	8	7	5	3	5	8
(15, 17.5]	8	6	4	8	8	6	4	5	8
(17.5, 20]	9	7	4	9	9	7	4	6	8
(20, 25]	10	9	5	10	11	9	5	6	9
(25, 30]	11	12	6	11	No alta	No alta	6	7	9

*Dormir sin compañía y limitar contacto, **dormir sin compañía, [†]limitar contacto con niños, ^{††}no acudir al trabajo

$\dot{H}^*(10)_{1m}$ realizada en el momento del alta (6 h post-infusión). Los días de restricción se han redondeado por defecto, pero como el día en el que se produce el alta no se incluye dentro del periodo de restricciones (empezando a contabilizarse éste desde el día siguiente), que el redondeo se produzca a la baja no condiciona la protección radiológica.

Escenario 2: alta a las 24 h

En la Tabla 5 y la Tabla 6 se muestran los días de restricciones obtenidos para tratamientos ^{177}Lu Lu-DOTA-TATE y ^{177}Lu Lu-PSMA-617 en función de la edad de los convivientes del paciente y de la medida de $\dot{H}^*(10)$ realizada al alta (24h post-infusión aproximadamente). En este caso los días se han redondeado siempre al alza para adoptar un enfoque conservador.

En la Tabla 6 se observa que, para una tasa en el intervalo de 25-30 $\mu\text{Sv/h}$, cuando el paciente convive con menores de entre 2 y 11 años, no puede recibir el alta radiológica. Esto se debe a que, aun cumpliendo indefinidamente las restricciones consideradas, se superaría el valor de RD asignado.

Discusión

En el presente trabajo se han calculado los periodos de restricción que deben mantener aquellos pacientes sometidos a tratamientos con ^{177}Lu Lu-DOTA-TATE y ^{177}Lu Lu-PSMA-617 tras recibir el alta radiológica, dis-

tinguiendo además si ésta se produce el propio día de la administración (cuando la eliminación es todavía rápida) o el día posterior. Durante el periodo de restricciones se han asumido las siguientes limitaciones: respecto a la pareja, no dormir acompañado; en caso de parejas embarazadas, no dormir acompañado y, además, restringir en lo posible el contacto, especialmente a menos de 2 metros; respecto a los hijos o familiares menores de edad, evitar que queden a cargo del paciente y limitar el contacto, especialmente a menos de 2 metros; y, por último, respecto al trabajo, teletrabajar o no acudir al puesto de trabajo. No ha sido objetivo del presente trabajo, sin embargo, establecer recomendaciones para el paciente y otras consideraciones en el ámbito de la protección radiológica porque hay disponibles múltiples documentos en la bibliografía recopilando instrucciones al alta tanto generales, como específicas para tratamientos con Lu-177.^{15,23-25}

Como se ha mencionado previamente, ya existía un documento de consenso del Foro de PR donde se ofrecen recomendaciones para pacientes tratados con I-131,¹ pero no había disponible ningún documento equivalente para tratamientos con Lu-177. Por ello, el presente trabajo viene a cubrir dicha necesidad en un contexto de aumento de administración de este tipo de radiofármacos. La forma de presentar los datos, semejante a la elegida por el foro de PR, permite establecer la duración de las restricciones de forma rápida, con una simple consulta a las tablas presentadas.

La metodología utilizada, como se ha descrito anteriormente, es análoga a la empleada por el Foro de PR para establecer periodos de restricciones tras tratamientos con I-131, aunque se han introducido varias

modificaciones respecto a lo considerado en este documento. Por un lado, se han adaptado las condiciones normales de convivencia, utilizando las propuestas por Barrington et al.¹¹ al considerarlas más conservadoras con la infancia. Además, se han modificado también algunos valores de RD. En concreto, la referente a las parejas de los pacientes menores de 60 años se ha establecido igualmente en 3 mSv/tratamiento, pero, a diferencia de Foro, donde el cálculo se realiza en base a 2 mSv al considerar que la pareja podía recibir 1 mSv adicional durante las visitas hospitalarias al paciente ingresado, en este trabajo se ha asumido que el paciente no recibe visitas durante su ingreso y, por lo tanto, el cálculo se ha hecho para una RD de 3 mSv. Por otro lado, para parejas mayores de 60 años, se ha decidido reducir la RD de los 15 mSv propuestos por el Foro a 5 mSv/tratamiento. Éste es precisamente el valor propuesto por la ICRP en su Publicación 103, donde ofrece datos de RD para las exposiciones de cuidadores como consecuencia de procedimientos médicos.¹⁰ En concreto, este documento establece una RD de 5 mSv/episodio, que se ha decidido aplicar al conjunto de exposiciones derivadas de un tratamiento completo (compuesto por 4 y 6 ciclos para [¹⁷⁷Lu]Lu-DOTA-TATE y [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617, respectivamente), de acuerdo con lo manifestado previamente. Con ello se cumple la recomendación del CSN, que propone tener en cuenta el número de ciclos a la hora de valorar el riesgo asumido por las personas del entorno del paciente.²

Además de lo anterior, también se ha decidido adoptar una postura más conservadora en el caso de los niños mayores de 11 años y adolescentes, reduciendo su RD de 3 a 1 mSv/tratamiento. La razón de que a los niños mayores de 10 años se les aplicase la misma RD que a los adultos radica en el criterio presentado en un informe europeo, y adoptado a su vez por el Foro de PR, por el cual se asume que los niños mayores de 10 años y los adultos tienen entre 2 y 3 veces menos riesgo de desarrollar un cáncer radioinducido que los niños pequeños.²⁶ Sin embargo, en un informe de UNSCEAR de 2013 ("United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation", por sus siglas en inglés), se afirma que los niños presentan de 2 a 3 veces más riesgo que el resto de población, pero extendiendo esta definición a lactantes, niños pequeños y adolescentes.²⁷ Por ello, se ha considerado adecuado y razonable establecer para todos los menores de 18 años una RD de 1 mSv/tratamiento.

Así mismo, se ha incluido una categoría adicional en las tablas propuestas en el documento del Foro¹ para contemplar la posibilidad de que la pareja del paciente estuviese embarazada, considerando en este caso unas restricciones y RD diferentes a las del caso de una pareja adulta sin esta condición. Para este colectivo, se ha establecido una RD de 1 mSv por tratamiento, que sería la correspondiente al feto. Además, mientras que

las condiciones normales de convivencia se consideran análogas a las de un adulto, las condiciones durante periodo de restricciones tendrían que ser más estrictas, debido a su condición de embarazo. Es decir, no se evitará dormir acompañado únicamente, sino que se restringirá en lo posible el contacto con la embarazada durante el periodo de restricciones (como con los niños menores de 1 año).

A diferencia de las tablas presentadas en el documento del Foro de PR para I-131, no se establecieron restricciones especiales para aquellos pacientes que trabajasen manipulando alimentos puesto que no se pudieron encontrar valores numéricos de eliminación de Lu-177 en la saliva. En este punto son necesarios trabajos adicionales que evalúen la concentración de Lu-177 en la saliva, especialmente en tratamientos con [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617, que se caracterizan precisamente por la elevada captación de las glándulas salivares.

Por otro lado, se ha optado por definir dos conjuntos de tablas para cada radiofármaco en función del momento en el que se proceda a dar el alta radiológica, ya que la eliminación será diferente. En este sentido, existen dos tendencias principales: aquellos hospitales donde el alta se produce el mismo día de la administración, generalmente al final de la jornada, trascurridas las 6 h que como mínimo exige el CSN² y aquellos centros donde el alta se produce el día posterior a la administración, cuando ya se puede asumir que solo domina la componente de eliminación lenta. En este primer caso hay que tener en cuenta que todavía habrá cierta contribución de la componente de eliminación rápida durante algunas horas más, de forma que es previsible que el valor de $\dot{H}^*(10)$ todavía disminuya rápidamente durante las horas posteriores al alta. Éste es el motivo por el que, para un mismo valor de tasa en el momento del alta, el periodo de restricciones cuando ésta se produce a las 6 horas es menor que si se produjese a las 24 horas. De hecho, si se utilizase una única tabla en ambas situaciones, considerando tan sólo la componente de eliminación lenta como sucede en el caso del I-131, se obtendría una sobreestimación del periodo de restricciones para los pacientes que reciben el alta el mismo día del tratamiento. Y aunque este enfoque pudiera ser conservador, no se considera apropiado restringir la convivencia y el contacto con su entorno de un paciente oncológico más allá de lo necesario.

Un aspecto fundamental a la hora de establecer el periodo de restricciones en cada situación es la caracterización de la velocidad de eliminación del fármaco. En Tabla 2 se han recogido los T_{ef} obtenidos de la literatura,¹³⁻²² observándose que la eliminación del radiofármaco en la etapa tardía (cuando predomina la componente lenta) parece ser más rápida en los tratamientos con [¹⁷⁷Lu]Lu-PSMA-617.³ Por este motivo, a pesar de que el tratamiento completo comprende 6 ciclos, el periodo de restricciones al alta tras la admi-

nistración de ^{177}Lu -PSMA-617 es en general menor que para su análogo con DOTA-TATE, que sólo conlleva 4 ciclos. En cualquier caso, cabe destacar la limitación de los datos disponibles en la bibliografía en la fase tardía ($T_{ef,2}$) pero muy especialmente para la etapa que sigue a la administración ($T_{ef,1}$). En este sentido, los valores presentados en este trabajo pueden ser objeto de actualización a medida que aumente la evidencia disponible.

Por último, si se comparan los periodos de restricción obtenidos para el Lu-177 con los periodos establecidos para pacientes metastásicos tratados con I-131, que podrían considerarse conservadores por ser la eliminación del I-131 más lenta que la del Lu-177, se observa que, al contemplar el número total de ciclos, los tratamientos con Lu-177 conllevan periodos de restricción más largos. Es más, en algunas situaciones podría establecerse el “no alta” del paciente a pesar de que la tasa al alta fuese inferior a 40 $\mu\text{Sv/h}$. Es el caso de un paciente sometido a un tratamiento con ^{177}Lu -PSMA-617, que conviviese con un menor de entre 2 y 11 años y que presentase una tasa superior a 25 $\mu\text{Sv/h}$ 24 horas después de la administración.

Por todo lo anterior se considera necesario reevaluar los criterios de alta de pacientes tratados con radiofármacos marcados con Lu-177 considerando que su entorno va a verse expuesto a 4-6 eventos de radiación en un periodo de entre 6 y 10 meses.

Conclusiones

Se ha reproducido la metodología empleada en el documento de criterios de alta de pacientes tratados con I-131 publicado en 2011 por el Foro de PR para calcular los periodos de restricción que deben cumplir los pacientes sometidos a tratamientos metabólicos con Lu-177.¹ Se ha introducido una ligera modificación para distinguir aquellas situaciones en las que el alta radiológica se produce el mismo día de la administración (cuando la eliminación es todavía rápida) o en el día posterior. Además, se ha comprobado que, aunque la eliminación del ^{177}Lu -DOTA-TATE y del ^{177}Lu -PSMA-617 es más rápida que la del I-131, al tener en cuenta el número de ciclos que comprenden cada tratamiento, la duración del periodo de restricciones que debe mantener el paciente al alta es mayor para los pacientes tratados con Lu-177. Por ello, las tablas proporcionadas en este documento constituyen una herramienta sencilla para establecer los criterios de alta de estos pacientes, optimizando la protección radiológica de su entorno, que se va a ver expuesto a varios eventos de radiación en un periodo inferior a un año.

Bibliografía

1. CSN, SEPR, SEFM. Criterios de alta de pacientes y medidas para la protección radiológica del público después de tratamientos metabólicos con 131I. [Internet]. Disponible en: <https://www.sepr.es/profesionales/descargables/send/77-foro-de-pr-en-el-medio-sanitario/4108-criterios-de-alta-de-pacientes-sometidos-a-tratamiento-de-i-131-2011>
2. CSN. Circular informativa no 2/2024 sobre formato y contenido estándar de la solicitud de radionucleidos no encapsulados para tratamientos con nuevos radiofármacos en Medicina Nuclear [Internet]. 2024. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27742/Circular+informativa+sobre+el+formato+y+contenido+est%C3%A1ndar+de+la+solicitud+de+radionucleidos+no+encapsulados+para+tratamientos+con+nuevos+radiof%C3%A1rmacos+en+medicina+nuclear/49b74917-7cbc-e518-0021-df4e0d4b0a32>
3. Mínguez Gabiña P, Vela NC, Rosales LI, Martí-Climent JM, Gómez LCM, Fuentes TM, et al. Procedimiento recomendado para la dosimetría de pacientes en terapia con radiofármacos que incluyen 177Lu. *Rev Física Médica*. 2024;25(2):34-78.
4. Strosberg J, El-Haddad G, Wolin E, Hendifar A, Yao J, Chasen B, et al. Phase 3 Trial of 177Lu-Dotatate for Midgut Neuroendocrine Tumors. *N Engl J Med*. 2017;376(2):125-35.
5. Jones W, Griffiths K, Barata PC, Paller CJ. PSMA Theranostics: Review of the Current Status of PSMA-Targeted Imaging and Radioligand Therapy. *Cancers*. 2020;12(6):1367.
6. Sartor O, Bono J de, Chi KN, Fizazi K, Herrmann K, Rahbar K, et al. Lutetium-177-PSMA-617 for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer. *N Engl J Med*. 2021;385(12):1091-103.
7. AEMPS. LUTATHERA. Ficha técnica o resumen de las características del producto [Internet]. Disponible en: https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/ft/1171226001/FT_1171226001.html.pdf
8. AEMPS. Pluvicto. Ficha técnica o resumen de las características del producto [Internet]. Disponible en: https://cima.aemps.es/cima/pdfs/es/p/1221703001/P_1221703001.html.pdf
9. Canadian Nuclear Safety Commission. Radionuclide Information Booklet. Version 7.1. Ottawa; 2023.
10. ICRP. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP 103. Ann. ICRP.
11. Barrington SF, O'Doherty MJ, Kettle AG, Thomson WH, Mountford PJ, Burrell DN, et al. Radiation exposure of the families of outpatients treated with radioiodine (iodine-131) for hyperthyroidism. *Eur J Nucl Med*. 1999;26(7):686-92.
12. D. Levart, E. Kalogianni, B. Corcoran, N. Mulholland and G. Vivian. Radiation precautions for inpatient and outpatient 177Lu-DOTATATE peptide receptor radionuclide therapy of neuroendocrine tumours. *EJNMMI Physics*. 2019;6(7).
13. Kurth J, Krause BJ, Schwarzenböck SM, Stegger L, Schäfers M, Rahbar K. External radiation exposure, excretion, and effective half-life in 177Lu-PSMA-targeted therapies. *EJNMMI Res*. 2018;8(1):32.
14. Sandström M, Garske-Román U, Granberg D, Johansson S, Widström C, Eriksson B, et al. Individualized dosimetry of kid-

- ney and bone marrow in patients undergoing ^{177}Lu -DOTA-octreotate treatment. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med*. 2013;54(1):33-41.
15. Monserrat Fuertes T, Santos Zorrozuza B, Rodeño Ortiz de Zarate E, Peinado Montes MÁ, Vigil Díaz C, Mínguez Gabiña P. Individualisation of radiation protection recommendations for patients treated with [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE. *EJNMMI Phys*. 2023;10(1):50.
 16. Fitschen J, Knoop BO, Behrendt R, Knapp WH, Geworski L. Äußere Strahlenexposition und effektive Halbwertszeit bei Therapie mit Lu-177-Dota-Tate. *Z Für Med Phys*. 2011;21(4):266-73.
 17. Wehrmann C, Senftleben S, Zachert C, Müller D, Baum RP. Results of individual patient dosimetry in peptide receptor radionuclide therapy with ^{177}Lu DOTA-TATE and ^{177}Lu DOTA-NOC. *Cancer Biother Radiopharm*. 2007;22(3):406-16.
 18. Lu Z, Sun Y, Zuo D, Li P, Sun X. Radiation Exposure to Patients and Others During Therapy for Pediatric Neuroblastoma With Lu-177-DOTATATE. *Clin Nucl Med*. 2025.
 19. Parlak Y, Mutevelizade G, Sezgin C, Goksoy D, Gumuser G, Sayit E. Effective half-life, excretion and radiation exposure of ^{177}Lu -PSMA. *Radiat Prot Dosimetry*. 2023;199(10):1090-5.
 20. Kulkarni HR, Singh A, Schuchardt C, Niepsch K, Sayeg M, Leshch Y, et al. PSMA-Based Radioligand Therapy for Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: The Bad Berka Experience Since 2013. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med*. 2016;57(Suppl 3):97S-104S.
 21. Sarnelli A, Belli ML, Di Iorio V, Mezzenga E, Celli M, Severi S, et al. Dosimetry of ^{177}Lu -PSMA-617 after Mannitol Infusion and Glutamate Tablet Administration: Preliminary Results of EUDRACT/RSO 2016-002732-32 IRST Protocol. *Mol Basel Switz*. 2019;24(3):621.
 22. Schuchardt C, Zhang J, Kulkarni HR, Chen X, Müller D, Baum RP. Prostate-Specific Membrane Antigen Radioligand Therapy Using ^{177}Lu -PSMA I&T and ^{177}Lu -PSMA-617 in Patients with Metastatic Castration-Resistant Prostate Cancer: Comparison of Safety, Biodistribution, and Dosimetry. *J Nucl Med Off Publ Soc Nucl Med*. 2022;63(8):1199-207.
 23. Hosono M, Ikebuchi H, Nakamura Y, Nakamura N, Yamada T, Yanagida S, et al. Manual on the proper use of lutetium-177-labeled somatostatin analogue (Lu-177-DOTA-TATE) injectable in radionuclide therapy (2nd ed.). *Ann Nucl Med*. 2018;32(3):217-35.
 24. IAEA. Release of Patients After Radionuclide Therapy [Internet]. Release of Patients After Radionuclide Therapy. International Atomic Energy Agency; 2009 [citado 22 de julio de 2025] p. 1-77. Disponible en: <https://www.iaea.org/publications/8179/release-of-patients-after-radionuclide-therapy>
 25. ICRP. Release of Patients after Therapy with Unsealed Radionuclides. ICRP Publication 94. *Ann. ICRP* 34 (2). 2004.
 26. European Commission: Directorate-General for Environment. Radiation protection following iodine-131 therapy (exposures due to outpatients or discharged inpatients). Publications Office; 1998.
 27. UNSCEAR. Sources and effects of ionizing radiation. Report to the General Assembly, with Scientific Annexes. Volume I. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, 2013.

Procedimiento recomendado para la dosimetría de pacientes en terapia con radiofármacos que incluyen ^{177}Lu

Rev Fis Med 2024;25(2)(Julio-Diciembre):34-78. doi: 10.37004/sefm/2024.25.2.003

Fe de erratas

Página 47 (Fórmula 17)

Donde dice

$$A(r, t) = \sqrt{\frac{C_{AP, \text{corr}}(r, t) \cdot C_{PA, \text{corr}}(r, t)}{\exp(\mu_{ef} \cdot L)}} \cdot \frac{f_r}{K_{\text{planar}}} \cdot f_{tm}$$

Debería decir

$$A(r, t) = \sqrt{\frac{C_{AP, \text{corr}}(r, t) \cdot C_{PA, \text{corr}}(r, t)}{\exp(-\mu_{ef} \cdot L)}} \cdot \frac{f_r}{K_{\text{planar}}} \cdot f_{tm}$$

HIPERTERMIA RADIATIVA LOCORREGIONAL DE PRECISIÓN



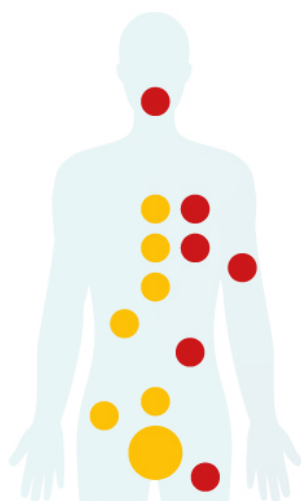
Med-Logix ha desarrollado los sistemas de **hipertermia radiativa ALBA** en colaboración con hospitales y centros académicos de primer nivel. La hipertermia es una **terapia adyuvante** de la radioterapia y quimioterapia que **potencia** sus efectos.

- **ESHO:** cumple directrices de calidad
- **Precisión:** alta dosis térmica en el tumor
- **Velocidad:** escalado rápido de dosis térmica
- **Seguridad:** sin puntos calientes ni quemaduras

ALBA4D

HIPERTERMIA PROFUNDA CONFORMADA

Cérvix	Sarcoma de tejido blando
Vagina	Próstata
Vulva	Esófago
Ovario	Páncreas
Recto	Tumores pediátricos
Vejiga	Carcinomatosis peritoneal



ALBA ON4000D

HIPERTERMIA SUPERFICIAL Y SEMIPROFUNDA

Cabeza y cuello
Mama
Melanoma
Sarcoma de tejido blando
Recurrencias pared torácica
Linfoma cutáneo



Distribuido en España por



Tel: (+34) 96 131 82 50 | atfisica@atfisica.com | www.atfisica.com



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.

Información para los autores

Objetivos de la *Revista de Física Médica*

La *Revista de Física Médica* (Rev Fis Med) es el medio de difusión científica oficial de la Sociedad Española de Física Médica (SEFM). Sus objetivos son dar a conocer trabajos científicos originales en español, servir de instrumento de opinión y debate y facilitar la educación continuada para todos los interesados en la Física Médica.

Para cumplir sus objetivos, la *Revista de Física Médica* publica artículos de carácter teórico, experimental y docente relacionados con la Física en las Ciencias de la Salud dentro de alguna de las categorías que se describen en las siguientes normas de publicación. La *Revista de Física Médica* también incluirá otras secciones para dar cabida a opiniones, debates y noticias de interés generadas dentro de la SEFM.

Normas generales de presentación de los originales

Los autores deberán incluir los originales enviados para su publicación bajo la forma de alguna de las siguientes categorías: (1) *Artículo de revisión*, (2) *Artículo científico*, (3) *Revisión técnica*, (4) *Comentario* y (5) *Cartas al Director*. El editor asociado podrá recomendar a los autores la conveniencia de adaptar su trabajo a una categoría diferente de la presentada, a instancias del Comité de Redacción o como consecuencia del proceso de revisión.

- (1) El *Artículo de revisión* es un estudio sobre un tema de interés general y de actualidad en el campo de la Física Médica. En general se hará por invitación directa del Comité de Redacción, aunque también se aceptarán aportaciones no invitadas. Los diferentes Grupos de Trabajo de la SEFM podrán enviar sus informes y conclusiones a esta sección. El proceso de revisión de los originales se realizará directamente por el Comité de Redacción de la *Revista de Física Médica*. Sin extensión y estructura fija, podrá contener texto, gráficas, tablas y bibliografía.
- (2) El *Artículo científico* supone la presentación de una investigación experimental, teórica o metodológica original. Se estructura bajo los siguientes epígrafes: *título* (en español e inglés), *autores*, *palabras clave* (en español e inglés), *resumen* (en español e inglés), *introducción*, *material y métodos*, *resultados*, *discusión*, *conclusiones* y *bibliografía*. Los trabajos presentados en esta sección serán sometidos a un proceso de revisión por un miembro del Comité de Redacción (*editor asociado*) y por al menos dos personas independientes, expertas en la materia, designadas por el Comité de Redacción.
- (3) La *Revisión técnica* es en general un informe extenso de una serie de medidas, en forma de tablas o gráficas, acompañadas de texto, que describe las condiciones y metodología de la medición. Estará sometida al mismo proceso de revisión que los artículos científicos y no tendrá extensión fija.
- (4) El *Comentario* es un trabajo que no puede encuadrarse en ninguno de los tipos anteriores, pero que trata sobre algún aspecto relevante en el área de Física Médica. En particular, se incluirán dentro de esta categoría los artículos de opinión y las reflexiones acerca de un tema de interés. El proceso de revisión de los originales se realizará directamente por el Comité de Redacción de la *Revista de Física Médica*. Los comentarios no tendrán una extensión y estructura fijas.
- (5) Las *Cartas al Director* incluirán título, autor y texto y no podrán sobrepasar las 750 palabras. El Comité de Redacción de la *Revista de Física Médica* tomará la decisión sobre su publicación completa o abreviada.

El autor que presente un trabajo para su publicación (en adelante, *autor responsable*) ha de tener la representatividad otorgada por el resto de los firmantes, certificando la autoría y participación de los otros autores. Véase al respecto la sección Autoría. A él se dirigirá la *Revista de Física Médica* de forma oficial en cualquiera de las fases del proceso de publicación.

Los trabajos se presentarán en lengua española. Se aceptarán las peculiaridades del español provenientes de cualquier país de habla hispana. Se insta a los autores a revisar cuidadosamente las estructuras gramaticales y la terminología utilizada, evitando términos confusos o no habituales para la mayoría de los lectores. Un artículo que no cumpla estos requisitos podrá ser devuelto a los autores sin iniciar el proceso de revisión científica.

Los artículos enviados a la *Revista de Física Médica* no podrán haber sido publicados o estar en fase de publicación en otras revistas o medios electrónicos (véase la excepción en Posibilidad de una publicación no original). El autor responsable deberá elaborar una carta de presentación con dicha declaración. En dicha carta se incluirán su dirección completa, correo electrónico y teléfono, así como el resto de información relevante, junto con el título del trabajo y la categoría a la que corresponde el original.

En los trabajos de las categorías (2) y (3), en el título, resumen o cuerpo del trabajo no podrá aparecer ninguna indicación que permita identificar al autor o autores o su adscripción a un grupo de investigación o centro específico.

Presentación y preparación de originales

Los originales de los trabajos sometidos a publicación y la carta de presentación se enviarán en soporte informático a la dirección electrónica revistafisicamedica@crein.com, indicando el programa informático utilizado.

Las hojas se numerarán correlativamente y se indicarán los números de línea en todas ellas para facilitar la tarea de revisión de los originales. Las ilustraciones y tablas se aportarán en hojas aparte del cuerpo principal del trabajo precedidas por una lista de pies de figura y tablas.

Los autores presentarán especial atención a las siguientes normas de edición:

- (1) Abreviaturas, símbolos, unidades, etc. Como abreviaturas se utilizarán las reconocidas nacional o internacionalmente con carácter general, y se evitará su uso en el título y en el resumen. Las abreviaturas no habituales o específicas de un campo se explicarán la primera vez que se introduzcan en el texto. La abreviatura irá precedida del término completo al que corresponde. Se utilizará en lo posible el Sistema Internacional de Unidades y sus nombres en español.

- (2) Expresiones matemáticas.
 - a. Se numerarán de forma correlativa según su orden de aparición en el texto siguiendo el formato (1), (2), etc. Se citarán del mismo modo.
 - b. Si los autores usan un procesador de textos que tenga editor de ecuaciones se recomienda utilizarlo.
- (3) Ilustraciones (gráficas y fotografías).
 - a. Se numerarán de forma correlativa según su orden de aparición en el texto siguiendo el formato fig.1, fig.2, etc. Se citarán del mismo modo.
 - b. Los pies de las ilustraciones se presentarán en hoja aparte.
 - c. Se adjuntará un fichero individual para cada ilustración en formato JPG, JPEG, TIFF, PS u otros formatos de imagen con calidad suficiente.
 - d. Todos los textos y etiquetas incluidos en las ilustraciones se presentarán en español.
 - e. En el caso de que alguna ilustración proceda de otra publicación el autor responsable deberá disponer de la correspondiente autorización, que se acompañará junto con la misma. En el pie de la ilustración se mencionará la fuente y el permiso.
- (4) Palabras clave. En los trabajos remitidos dentro de las categorías (1), (2) y (3) se incluirá una relación de 4 ó 5 palabras clave representativas del trabajo, en español y en inglés.
- (5) Referencias bibliográficas.
 - a. Se numerarán de forma correlativa según su orden de aparición en el texto siguiendo el formato ^{1,2, 3-6} etc.
 - b. En el texto constará siempre la numeración de la cita, vaya o no acompañada del nombre de los autores; cuando se mencionen éstos, si se trata de un trabajo realizado por dos, se mencionarán ambos, y si se trata de más de dos se citará el primero seguido de la expresión "et al." o "y cols."
 - c. Las abreviaturas de las revistas que se citen serán las oficialmente reconocidas en los índices nacionales o internacionales.
 - d. Los autores son los responsables de la exactitud de las citas. Se ruega ser especialmente cuidadoso en este aspecto. El autor deberá comprobar las referencias cotejándolas con los documentos originales.
 - e. Las referencias deben ser accesibles en la literatura científica. Las citaciones del tipo comunicaciones privadas, información comercial, manuales o textos sin ISBN y direcciones de Internet se incluirán como notas a pie de página.
 - f. Las referencias bibliográficas se listarán en la sección *bibliografía* al final del texto según las normas de Vancouver. Ejemplos:

Revistas

1. Pérez L, Martínez A, Sánchez JL. Una nueva metodología para el control de calidad de fósforos fotoestimulables. *Rev Fis Med* 2005;2:127-35.
2. Pérez L, Martínez A, Sánchez JL. Una nueva metodología para el control de calidad de fósforos fotoestimulables. Parte II. *Rev Fis Med* (en prensa).
3. Parkin DM, Clayton D, Black RJ, Masuyer E, Friedl HP, Ivanov E, et al. Childhood leukaemia in Europe after Chernobyl: 5 year follow-up. *Br J Cancer* 1996;73:1006-12 (más de 6 autores).

Libros

4. Ringsven MK, Bond D. Gerontology and leadership skills for nurses. 20 ed. Albany (NY): Delmar Publishers;1996.

Capítulos de libros

5. Phillips SJ, Whisnant JP. Hipertensión and stroke. In: Laragh JH, Brenner BM, editores. *Hipertensión: pathophysiology, diagnosis and management*. 20 ed. Nueva York: Raven Press;1995. p. 465-78.

Ponencia en conferencia

6. Bengtsson S, Solheim BG. Enforcement of data protection, privacy and security in medical informatics. En: Lun KC, Degoulet P, Piemme TE, Rienhoff O, editors. *MEDINFO 92. Proceedings of the 7th World Congress on Medical Informatics*; 1992 Sep 6-10; Ginebra, Suiza. Amsterdam: North-Holland; 1992. p. 1561-5.

- (6) Traducción al inglés: Con el fin de alcanzar una mayor difusión de los artículos publicados por la *Revista de Física Médica*, se ofrece a los autores la posibilidad de editar una versión en inglés de su trabajo en la página web de la Revista. La traducción será realizada en todo caso por los propios autores, aunque la *Revista de Física Médica* asumirá el proceso de edición final de acuerdo con los criterios establecidos por el Comité de Redacción.
- (7) Resumen.
 - a. En las categorías (1), (2) y (3) se incluirá un resumen en español y otro en inglés, que para las categorías (1) y (2) no excederán de 200 palabras. Para la categoría (3) el número de palabras se limita a 100.
- (8) Tablas.
 - a. Se numerarán de forma correlativa según su orden de aparición en el texto siguiendo el formato tabla 1, tabla 2, etc. Se citarán del mismo modo.
 - b. En lo posible se evitarán tablas de tamaño excesivo.
 - c. En general, las tablas deberían poder interpretarse sin necesidad de acudir a explicaciones en el cuerpo del texto; por ello, en el caso en que sea necesario, deben utilizarse notas al pie de la tablas para que su comprensión sea completa.
 - d. La nueva ortografía de la lengua española indica (pag. 666): "...Con el fin de promover un proceso tendente a la unificación, se recomienda el uso del punto como signo separador de los decimales". Esta afirmación se hace tras indicar que hay países de habla española que emplean el punto y otros la coma. Se trata, por tanto, de una recomendación; al igual que lo era antes el uso de la coma. Nos atenemos, por consiguiente, a ella.

Autoría

A la hora de determinar la autoría de un trabajo, el autor responsable y el resto de autores deben garantizar que cualquier individuo o grupo que haya realizado una contribución significativa al trabajo tenga la oportunidad de aparecer en la relación de autores. De acuerdo con los requisitos de uniformidad publicados por el Comité Internacional de Editores de Revistas Médicas (ICMJE), el reconocimiento de la autoría debe basarse en: (1) las aportaciones importantes a la idea y el diseño del estudio, a la recogida de datos o a su análisis e interpretación; (2) la redacción del borrador del artículo o la revisión crítica de su contenido intelectual, y (3) la aprobación final de la versión que va a publicarse. Los autores deben cumplir estas tres condiciones. La recaudación de fondos, la recogida de datos o la supervisión general del grupo de investigación no justifican por sí solas la autoría.

La participación de los autores en el trabajo debe ser suficiente como para aceptar públicamente la responsabilidad de la parte a su cargo del contenido. El orden de los autores en la publicación debería ser una decisión compartida de los coautores, que deben ser capaces de explicar el orden en el que aparecen sus nombres.

Siguiendo de nuevo al ICMJE, todos los colaboradores que no cumplen los criterios de autoría o hayan realizado contribuciones menores deben aparecer en la sección de agradecimientos, pero no ser citados como autores. Las ayudas económicas y materiales deben aparecer en los agradecimientos.

Posibilidad de una publicación no original

Una segunda publicación en español, especialmente si la primera procede de una realizada en revistas de alto índice de impacto en otra lengua, está justificada y puede ser beneficiosa siempre y cuando cumpla las siguientes condiciones:

- (1) Los autores cuentan con el consentimiento de los directores de ambas revistas; el director de la *Revista de Física Médica* debe tener una fotocopia, reimpresión o ejemplar de la primera publicación.
- (2) La prioridad de la primera publicación se respetará con un intervalo de al menos una semana entre ambas publicaciones (a menos que sea negociado de otra manera por parte de ambos directores).
- (3) La segunda publicación puede ser una versión abreviada de la primera. Esto está motivado por el hecho de que una segunda publicación está destinada en general a un grupo distinto de lectores pero, cabe pensar, con posible acceso a la primera.
- (4) La segunda versión reflejará fielmente la información e interpretaciones de la primera.
- (5) En la segunda versión, mediante una nota a pie de página, se informará a los lectores, investigadores y centros de documentación, de que el artículo ya ha sido publicado en parte o en su totalidad y se hará constar la referencia de la primera publicación. Para que sea adecuada, la nota a pie de página debería decir lo siguiente: "Este artículo está basado en un estudio publicado por primera vez en la revista [título de la revista y referencia completa]".

Ética

Cuando se trate de experimentos con seres humanos, hay que indicar si los procedimientos empleados han respetado o no los criterios éticos del comité responsable de experimentación humana (local o institucional) y la Declaración de Helsinki de 1975, enmendada en el año 2000. No se incluirán los nombres de los pacientes, ni sus iniciales, ni los números que les hayan sido asignados en los hospitales, especialmente si se trata de material ilustrativo. En todo caso se respetará el derecho de los pacientes al consentimiento informado. Cuando se trate de experimentos con animales o tejidos de animales, se indicará si se siguieron o no las recomendaciones de alguna institución para el cuidado y utilización de los animales de laboratorio o alguna ley nacional o autonómica sobre el mismo tema.

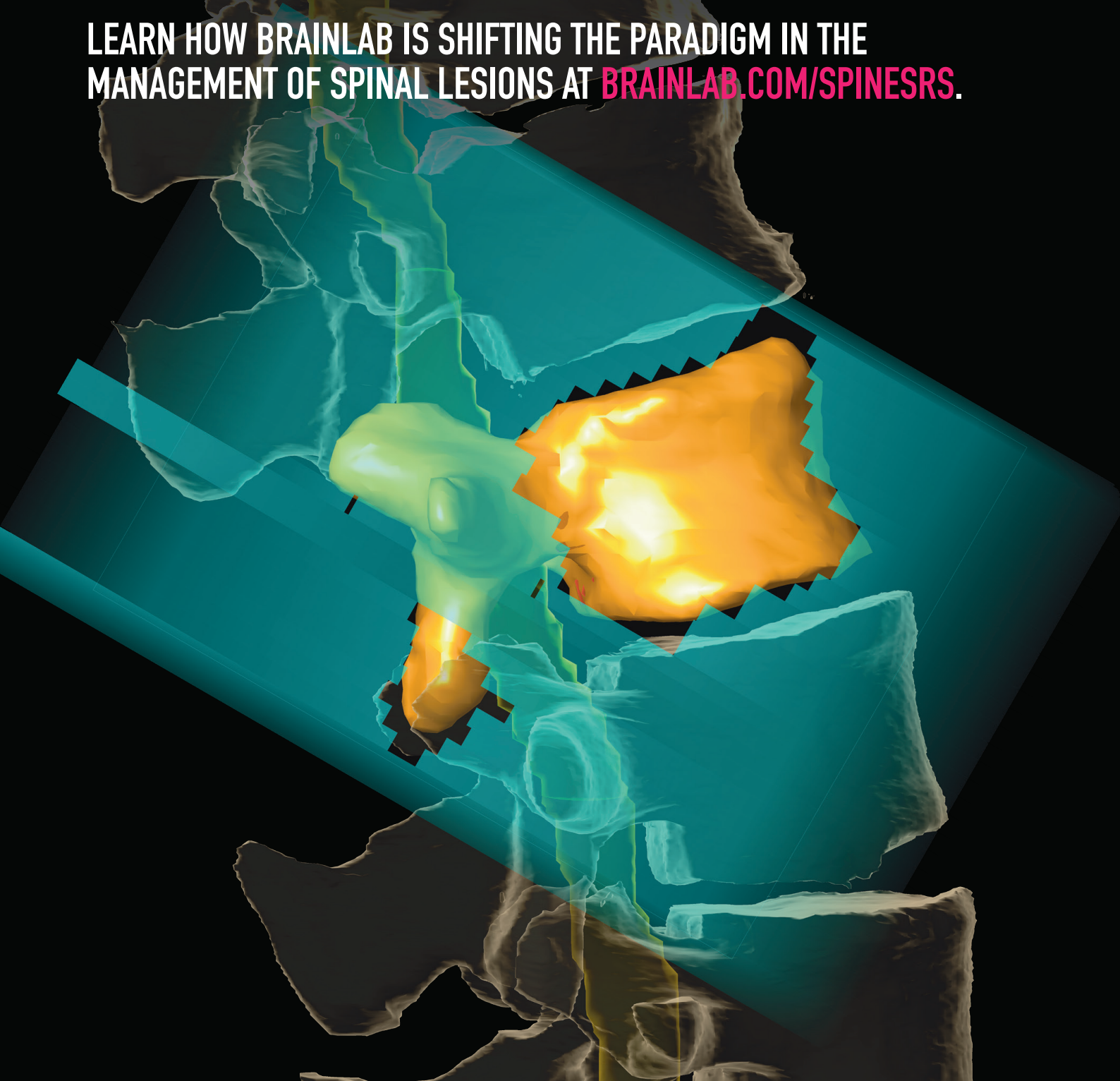
En todo lo no regulado en las presentes normas, y en caso de conflicto ético, se seguirá el código deontológico de la Sociedad Española de Física Médica.













































Proceso de publicación

- (1) Una vez recibidos los originales en versión electrónica según las especificaciones anteriores, la Secretaría Técnica de la Revista acusará recibo de su recepción al autor responsable del trabajo, e iniciará el trámite para que el Comité de Redacción designe al editor asociado y, cuando proceda, al revisor o revisores científicos.
- (2) En un plazo próximo a un mes, el autor responsable recibirá un escrito del Comité de Redacción en el que se fundamentará la aceptación, la aceptación con cambios menores, la modificación con cambios mayores o, en su defecto, el rechazo del trabajo. En los casos en que proceda, los autores recibirán los comentarios generales y específicos de los revisores científicos.
- (3) Es importante que los autores respondan de forma detallada a cada uno de los comentarios específicos de los revisores y remitan, si así lo desean, una nueva versión del trabajo con la mayor brevedad posible, en el caso de aceptación con cambios menores. Si los autores han recibido una respuesta de aceptación del trabajo con cambios mayores dispondrán de un plazo de 6 semanas a contar desde la fecha de recepción de los comentarios de los revisores. En caso de sobrepasar dicho plazo, se entenderá que los autores retiran el trabajo en su forma actual y, si se remitiera de nuevo, el Comité de Redacción de la Revista podrá considerar a todos los efectos que se trata de un nuevo trabajo.
- (4) Los trabajos aceptados quedan como propiedad permanente de la *Revista de Física Médica* y no podrán ser reproducidos total o parcialmente sin permiso expreso y por escrito del Director de la Revista. La cesión de los derechos de autor se considera implícita en la carta de presentación del original firmada por el autor responsable.
- (5) La *Revista de Física Médica* no se hace responsable de los contenidos científicos ni de las implicaciones legales de los artículos publicados.
- (6) El autor responsable recibirá por vía electrónica, cuando el artículo esté en prensa, las pruebas de imprenta para su aprobación o corrección. El autor deberá contestar por la misma vía electrónica en un plazo no superior a 72 horas indicando su conformidad o las modificaciones que procedan, entendiéndose que:
 - La responsabilidad de la detección de errores reside enteramente en los autores.
 - La calidad de las ilustraciones deberá ser aceptada por los autores.
 - En caso de hacer un número importante de cambios, el correspondiente coste será cargado a los autores.
 - Para evitar cambios de última hora, se insta a los autores a seguir cuidadosamente las normas de edición de la *Revista de Física Médica* desde las fases iniciales de redacción.
- (7) Se ofrece a los autores la posibilidad de incluir elementos multimedia para enriquecer la versión de su trabajo publicada en la página web de la *Revista de Física Médica*. Este particular debe comunicarse al editor asociado. La decisión sobre los contenidos multimedia y la forma en que aparezcan será tomada por el Comité de Redacción.

SPINE SPECIFIC SOLUTIONS. FAST, CONSISTENT PLANNING. STEEP DOSE FALLOFF.

LEARN HOW BRAINLAB IS SHIFTING THE PARADIGM IN THE
MANAGEMENT OF SPINAL LESIONS AT [BRAINLAB.COM/SPINESRS](https://brainlab.com/spinesrs).



	Numerario 80€/año	Joven 40€/año	Técnico 40€/año	Corresponsal 57€/año
Acceso a documentación publicada por la SEFM				
Asistir a las asambleas de la SEFM				
Descuentos en los eventos organizados por la SEFM				
Acceso a la revista European Journal of Medical Physics (EJMP)				
Acceso a normas UNE				
Acceso a los contactos con otros socios				
Acceso a documentación científica e informes de grupos de trabajo				
Formar parte de los grupos de trabajo				
Disfrutar de ayudas económicas				
Derecho a voto en las asambleas				
Formar parte de las posiciones de Gobierno de la SEFM				

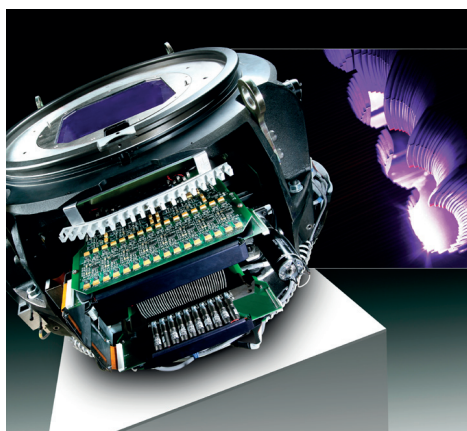
Durante los diferentes pasos del boletín de nuevos socios, se te podrá solicitar documentación acreditativa como el título de Física o la adjudicación de plaza si optas a cuota joven.

HAZTE SOCIO

imagine



...el doble de láminas al doble de velocidad



Con Agility™, esto es realidad.

El MLC más avanzado para la radioterapia actual, Elekta Agility esculpe con precisión la radiación gracias a 160 láminas de gran resolución en un campo de 40 cm × 40 cm. Con capacidad de gestionar el abanico de terapias más amplio, Agility también dispone de un movimiento de lámina ultrarrápido, con una fuga extraordinariamente baja para maximizar el potencial de técnicas avanzadas tales como SRS (sistema de radiocirugía estereotáctica), SRT (sistema de radioterapia estereotáctica) y VMAT (arcoterapia modulada volumétrica).

La licencia de Agility no se comercializa en todos los mercados. Para obtener más información, póngase en contacto con el representante local de Elekta.

4513 371 0993 03:12



Experience the Elekta Difference
Más información en: elekta.com/imagine



Índice de autores *Revista de Física Médica* 2025

- Abella Cereigido, R **2025;26(1):13**
- Alcaide de Wandeleer, J **2025;26(2):11**
- Altozano Ruiz, E **2025;26(2):11**
- Álvarez Bernardo, L **2025;26(2):11**
- Angulo Santos, A **2025;26(2):11**
- Arias Castro, P **2025;26(2):11**
- Ayala Lázaro, R **2025;26(2):11**
- Barba Pérez, JC **2025;26(2):27**
- Casasola Muñoz, B **2025;26(2):11**
- Castro Tejero, P **2025;26(1):27**
- Chamorro Serrano, P **2025;26(1):27**
- Chillida Rey, R **2025;26(2):11**
- Cuesta Reina, JA **2025;26(2):11; 2025;26(2):27**
- Delgado Espinosa, S **2025;26(2):11**
- Díaz Tomé, L **2025;26(2):11**
- Estrada Pastor, Ó **2025;26(2):11**
- Ferrández Millán, ML **2025;26(2):11**
- Fernández Sánchez, T **2025;26(2):11**
- Gañán Mora, A **2025;26(2):11**
- García Iglesias, N **2025;26(2):11**
- Gayol Vilorio, I **2025;26(2):27**
- González González, E **2025;26(2):11**
- González González, T **2025;26(2):11**
- González Ruiz, C **2025;26(2):27**
- Hernández González, D **2025;26(1):27**
- Hernández Masgrau, V **2025;26(1):13**
- Izquierdo Rodríguez, C **2025;26(1):27**
- Jiménez Albericio, FJ **2025;26(2):11**
- Lara Aristimuño, I **2025;26(1):13**
- Liñán Rodríguez, PM **2025;26(2):11**
- Llamas Martínez, P **2025;26(2):11**
- López Medina, A **2025;26(2):11**
- Martín Fontán, M **2025;26(2):11**
- Martínez Moreno, A **2025;26(2):11**
- Megías Ruiz, JM **2025;26(2):27**
- Morcillo García, AB **2025;26(2):27**
- Muñoz Torrijos, MA **2025;26(1):27**
- Musson Gómez, DA **2025;26(2):11; 2025;26(2):27**
- Naranjo Jiménez, N **2025;26(2):11**
- Paradela Díaz, G **2025;26(2):11**
- Pereda Barroeta, N **2025;26(2):11**
- Piqueras Guardiola, F **2025;26(2):11**
- Reverter Pérez, J **2025;26(2):11**
- Riu Molinero, V **2025;26(2):11**
- Rivas Morales, JJ **2025;26(2):11**
- Roch González, M **2025;26(1):27**
- Sáez Beltrán, J **2025;26(1):13**
- Sánchez Pérez, M **2025;26(2):11**
- Segovia Brome, RM **2025;26(2):11**
- Sierra Díaz, F **2025;26(2):27**
- Uzquiza López, J **2025;26(2):11**
- Veiguela Prado, G **2025;26(2):11**
- Vicente Bernal, R **2025;26(2):11**



La Dirección y el Comité de Redacción de la *Revista de Física Médica* agradecen la colaboración de los siguientes asesores científicos durante el año 2025:

Luis Quiñones Rodríguez
Oscar Pera Cegarra
Rocío Simón de Blas
Juan Antonio Vera Sánchez
Luis Carlos Martínez Gómez
Alberto Marin Caba
Eva Ambroa Rey
Paz García de Acilu



Vaya más allá

Diseñada para aumentar la capacidad, la flexibilidad y la eficiencia de la radioterapia, la terapia Ethos™ transforma el tratamiento contra el cáncer.

La terapia Ethos, la solución Adaptive Intelligence™ de Varian, es un avance revolucionario en la terapia adaptativa que le permite ir más allá de lo que creía que podía conseguir en la lucha contra el cáncer. Ethos le permite **ver más...** para poder **saber más...** y está diseñada para ayudarle a **tratar el cáncer con más precisión...** y poder adaptar y personalizar el tratamiento de cada paciente, cada día.

Pruebe la terapia Ethos en [varian.com/ethos](https://www.varian.com/ethos) y vaya más allá en su capacidad para tratar a cada paciente.

Información sobre seguridad: la radiación puede provocar efectos secundarios y no ser adecuada para todos los tipos de cáncer. Si desea más información, visite www.varian.com/safety.

© 2019, 2020 Varian Medical Systems, Inc., Varian y Varian Medical Systems son marcas registradas de Varian Medical Systems, Inc. y Adaptive Intelligence y Ethos son marcas de Varian Medical Systems, Inc.

varian

ETHOS™

Índice

Editorial	9
Artículos científicos	
Comparación de técnicas de planificación en radioterapia para cáncer de mama: Un estudio multicéntrico en unidades docentes de radiofísica hospitalaria <i>Rafael Ayala Lázaro et al.</i>	11
Cálculo del periodo de restricciones tras el alta radiológica de pacientes sometidos a terapia metabólica con [^{177}Lu]Lu-DOTA-TATE y [^{177}Lu]Lu-PSMA-617 <i>Isabel Gayol Vilorio et al.</i>	27
Fe de erratas	37
Revisión de artículos	39

