

## Simulación Monte Carlo aplicada a tratamientos médicos reales como metodología para adquisición de competencias relativas a Trabajos final de grado o máster.

### *Monte Carlo simulation applied to real medical treatments as a methodology for skills acquisition related to Final Degree or Master Thesis*

S. Oliver<sup>a</sup>, B. Juste<sup>b</sup>, R. Miró<sup>c</sup> y G. Verdú<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n, 46022, València, Spain, [sanolgi@upvnet.upv.es](mailto:sanolgi@upvnet.upv.es)  <sup>b</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, [bjuste@upv.es](mailto:bjuste@upv.es)  ; <sup>c</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, [rmiro@upv.es](mailto:rmiro@upv.es)  ; <sup>d</sup>Departamento de Ingeniería Química y Nuclear, Universitat Politècnica de València, [gverdu@iqn.upv.es](mailto:gverdu@iqn.upv.es) 

**How to cite:** S. Oliver, B. Juste, R. Miró y G. Verdú 2023. Simulación Monte Carlo aplicada a tratamientos médicos reales como metodología para adquisición de competencias relativas a Trabajos final de grado o máster. En libro de actas: *IX Congreso de Innovación Educativa y Docencia en Red*. Valencia, 13 - 14 de julio de 2023. Doi: <https://doi.org/10.4995/INRED2023.2023.16562>

---

### **Abstract**

*In the last stages of university education, students begin to show concerns about their professional future. Subjects such as final degree or master's projects, or even curricular internships, are important for students to become aware of the knowledge learned and its application in professional fields. In degrees such as Biomedical Engineering or the Master's Degree in Nuclear Safety and Radiological Protection taught at the Universitat Politècnica de València (UPV) some students are interested in branches of knowledge such as medical physics. To satisfy their interest in developing projects in this area, the research group of the Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM) offers them the opportunity to carry out internships and/or Final Degree/Master's Project related to medical treatments, through the use of Monte Carlo (MC) simulations. By developing this type of project, students acquire skills and learning outcomes related to real clinical cases in different current medical techniques. All this introduces students to the exercise of professions such as hospital radiophysicist.*

**Keywords:** *Training, medical physics, active learning, Monte Carlo*

## **Resumen**

*En las últimas etapas de la formación universitaria, el alumnado empieza a mostrar inquietudes sobre su futuro profesional. Es por ello que los trabajos final de grado o máster, o incluso las prácticas curriculares, son importantes para que el alumnado tome conciencia de los conocimientos aprendidos y de su aplicación en ámbitos profesionales. En grados como Ingeniería Biomédica o el Máster de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica impartidos en la Universitat Politècnica de València (UPV), parte del alumnado se interesa en ramas del conocimiento como la física médica. Para satisfacer el interés del alumnado en desarrollar proyectos en esta área, el grupo de investigación del Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), les ofrece la oportunidad de realizar prácticas de empresa y/o Trabajo Fin de Grado/Máster relacionados con tratamientos médicos reales a través del uso de las simulaciones Monte Carlo (MC). Desarrollando este tipo de proyectos, el alumnado adquiere habilidades y resultados de aprendizaje relacionados con casos clínicos reales en diferentes técnicas médicas actuales. Todo esto introduce al alumnado en el ejercicio de profesiones como radiofísico hospitalario.*

**Palabras clave:** Formación, física médica, aprendizaje activo, Monte Carlo.

## **Introducción**

Para el alumnado universitario es fundamental que los programas académicos estén actualizados y que estén diseñados para adquirir las habilidades relevantes para la práctica laboral (Du-Babcock, 2016). Esta formación universitaria debe entenderse como una preparación para la integración laboral, adaptándose a la sociedad actual, que cambia de forma rápida y constante.

Además, es importante que, en las últimas etapas de su formación, el alumnado tenga la oportunidad de realizar prácticas profesionales similares a las que desarrollarán en sus futuros puestos de trabajo (Blanco, López, & López del Corral, 2012). Esto les permitirá aplicar los conocimientos adquiridos en un entorno real, mejorar sus habilidades prácticas y tener contacto con el mundo laboral, así como ayudarles a formar su identidad profesional (Reedy, Alison, Reyes, & Pradilla, 2020). Es de vital importancia la relación de los conocimientos adquiridos durante su formación con situaciones reales. Puesto que en la mayoría de grupos de trabajo, éste se realiza de manera colaborativa, al alumnado se le debe entrenar también en esta práctica, aprovechando los beneficios que involucra. Trabajar en entornos colaborativos aumenta la implicación, tanto por el compromiso creado con el resto del equipo, como por la satisfacción compartida (Zhao & Khu, 2004), (Zu, 2012), (Laird, Shoup, Kuh, & Schwarz, 2008).

En diferentes ámbitos de la ingeniería, es complicado salvar la brecha entre la teoría de aula y la aplicación de ésta en entornos laborales reales. Con la intención de mejorar este aspecto de la docencia, el Instituto de Seguridad Industrial, Radiofísica y Medioambiental (ISIRYM), propone como actividades formativas asociadas al departamento de Ingeniería Química y Nuclear, proyectos relacionados con la física médica, en los que el alumnado realiza mediante simulación Monte Carlo (MC), tratamientos médicos reales. El método MC utiliza números aleatorios para representar las variables que intervienen en un sistema complejo, obteniendo resultados precisos. Por todo esto, se considera una herramienta valiosa en diferentes áreas, especialmente en física e ingeniería, ya que permite al alumnado desarrollar habilidades y conocimientos en áreas complejas y en constante evolución. Mediante esta técnica, el alumnado puede

aplicar teorías y conceptos en un entorno práctico y realista, lo que le permitirá adquirir una comprensión más profunda de los conceptos estudiados.

Haciendo uso de estas simulaciones, los proyectos presentados por el ISIRYM pretenden entrenar al alumnado, de forma activa y aplicada, en diferentes tareas multidisciplinares iguales o similares a las que ejercería en profesiones como la investigación en física médica, en la profesión de radiofísico hospitalario o como desarrollador de sistemas de planificación o equipos de tratamientos oncológicos, entre otras. Es decir, permiten al alumnado reproducir escenarios clínicos reales. Con esta propuesta, se pretende potenciar el nivel de implicación y la percepción de relevancia del alumnado en el proyecto propuesto, así como despertar su curiosidad por aprender, es decir potenciar la motivación intrínseca (Kember, Ho, & Hong, 2008), (Jennifer, Phyllis, & Alison, 2004).

Durante la formación académica en el Grado de Ingeniería Biomédica y el Máster de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, ambos impartidos en la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la Universitat Politècnica de València (UPV), el alumnado cursa diferentes asignaturas relacionadas con el conocimiento de la interacción de radiación con la materia y el transporte de partículas, centrado en el ámbito de la física médica. En concreto, se les introduce en el conocimiento de protección radiológica, cálculo dosimétrico, detección de la radiación y normativa específica en el campo clínico. Además, se presta especial interés en las técnicas de radioterapia utilizadas actualmente en el ámbito hospitalario, así como técnicas utilizadas en la planificación de tratamientos.

Por otro lado, los trabajos final de grado o máster (TFG/TFM), así como las prácticas curriculares del grado y máster mencionados, son asignaturas que tienen un carácter multidisciplinar relacionado con asignaturas ya cursadas. En estos casos, el alumnado elige proyectos relacionados con sus inquietudes profesionales para ser desarrollados de forma autónoma, con el apoyo de uno o más tutores que le guiarán durante el desarrollo del trabajo.

Mediante los proyectos propuestos por el ISIRYM para TFG/TFM y prácticas curriculares, se abarcan diferentes resultados de aprendizaje, presentes en las 5 dimensiones de competencias transversales:

- **Compromiso social y medioambiental:** el alumnado contribuye en el diseño, desarrollo y ejecución de soluciones que den respuesta a demandas sociales mediante la realización de tratamientos oncológicos personalizados según el paciente y tipo de tratamiento.
- **Innovación y creatividad:** se evalúa, de manera crítica y constructiva, las ventajas y las oportunidades de diferentes soluciones a un mismo problema, comparando los resultados de planificaciones de tratamientos realizados con simulación MC, con aquellos obtenidos con métodos deterministas o híbridos. Además, el alumnado es capaz de identificar nuevos retos para la mejora de tratamientos empleando técnicas de vanguardia.
- **Trabajo en equipo y liderazgo:** el alumnado es capaz de identificar los roles y destrezas para formar parte de equipos multidisciplinares con diferentes perfiles profesionales, ya que en muchos casos se colabora con hospitales de referencia. Todos los proyectos se desarrollan dentro del grupo de investigación ISIRYM, por lo que el alumnado aprende a funcionar en un entorno colaborativo, contribuyendo de manera proactiva en el desarrollo del trabajo y en la búsqueda de soluciones a los problemas planteados.
- **Comunicación efectiva:** además de la presentación y defensa de los TFG/TFM, algunos de los proyectos desarrollados se llegan a presentar a diferentes congresos científicos, por lo que el alumnado cubre todos los resultados de aprendizaje de esta dimensión: estructurar el discurso para

favorecer la comprensión de los objetivos, acciones y/o resultados, desarrollar textos profesionales o informes, demostrar destreza en la comunicación empleando medios de apoyo etc.

- **Responsabilidad y toma de decisiones:** el alumnado es capaz de resolver problemas complejos de manera autónoma, extraer conclusiones, aplicar técnicas de búsqueda bibliográfica etc. Todo esto se refleja en los diferentes pasos seguidos para realizar simulaciones MC de tratamientos: modelizar las geometrías de los pacientes o fantasmas, preprocesarlas y adaptarlas al formato del código de simulación, conocer los parámetros del código MC, ejecutar y recoger los resultados, así como analizarlos y compararlos con los mismos obtenidos por otras técnicas.

El trabajo presentado se desarrollará siguiendo la siguiente estructura: primero se enunciarán los objetivos principales y específicos del trabajo, después se explicará el desarrollo de la innovación, a continuación los resultados obtenidos y, finalmente las conclusiones del trabajo presentado.

## 1. Objetivos

Los objetivos principales de esta innovación son potenciar el aprendizaje activo y la motivación del alumnado mediante el desarrollo de proyectos reales en el ámbito de la física médica. Además, se pretende ayudar al alumnado a formar su identidad profesional, dándole la oportunidad de tener contacto con experiencias laborales habituales en la rutina clínica.

Los objetivos específicos son:

- Aplicar una metodología de aprendizaje activo para realizar un trabajo de simulación en el ámbito de la física médica
- Determinar el nivel de aceptación de la metodología por parte de los estudiantes.
- Ajustar las competencias de los alumnos al perfil técnico demandado en el entorno laboral de la física médica.

Los proyectos mediante los cuales se pretenden lograr estos objetivos están enmarcados en el grupo de innovación educativa impulsado por el Instituto de Ciencias de la Educación (ICE) de la UPV. EL ICE promueve los Equipos de Innovación y Calidad Educativa (EICE), que son grupos de docentes de una misma área multidisciplinar o de diferentes áreas que comparten objetivos comunes en materia de innovación educativa. Estos equipos constituyen un motor de cambio dentro de la universidad en lo que respecta a la transmisión del conocimiento. En concreto, los proyectos propuestos en este trabajo se desarrollan en el marco de la EICE denominados: Simulación en la Enseñanza de las Radiaciones Ionizantes y Seguridad Nuclear (SERISN).

## 2. Desarrollo de la innovación

Los proyectos propuestos para TFG/TFM o prácticas curriculares, se centran en el estudio de la radiación ionizante aplicada a tratamientos médicos reales utilizando técnicas de MC. El proceso del diseño de un tratamiento médico es un proceso complejo, que consta de diferentes etapas que se describirán en las siguientes subsecciones. Para acercar este proceso al alumnado y conseguir que lo perciba como importante ya sea para su futuro profesional o para mejorar la sociedad en la que vive, se han secuenciado las partes que involucran reproducir un tratamiento médico, abordando el problema como un conjunto de tareas

independientes. De esta manera se consigue adquirir el aprendizaje completo del proceso, evitando que el alumnado se vea abrumado por la complejidad del proyecto y el conjunto de técnicas que debe conocer y que son necesarias para llevarlo a cabo.

Por otro lado, las simulaciones MC requieren un conocimiento profundo de la física que involucra la interacción de radiación con la materia. Esto se traduce en ficheros de configuración de la simulación que constan de numerosos parámetros referentes a la física involucrada. Para minimizar los esfuerzos invertidos en el diseño de las simulaciones por parte del alumnado, en la innovación presentada, se han adaptado diferentes ficheros de configuración según el tipo de tratamiento a realizar en cada caso, ofreciendo plantillas que se ejecutarán en un *cluster* con toda la infraestructura necesaria. Con esta adecuación de los ficheros de configuración, se pretende trabajar la autonomía a largo plazo del alumnado, a medida que va adquiriendo conocimientos. Se empieza por darles guías para que la tarea no sea inasumible y, a medida que se avanza en el desarrollo del proceso, se les va exigiendo mayor nivel de detalles en las simulaciones, de forma que describan de manera más detallada el caso clínico real, favoreciendo la motivación intrínseca del alumnado hacia el aprendizaje (Jennifer, Phyllis, & Alison, 2004).

Las etapas en las que se dividen comúnmente estos proyectos se presentan en el diagrama de flujo de la Fig. 1 y se describen a continuación.

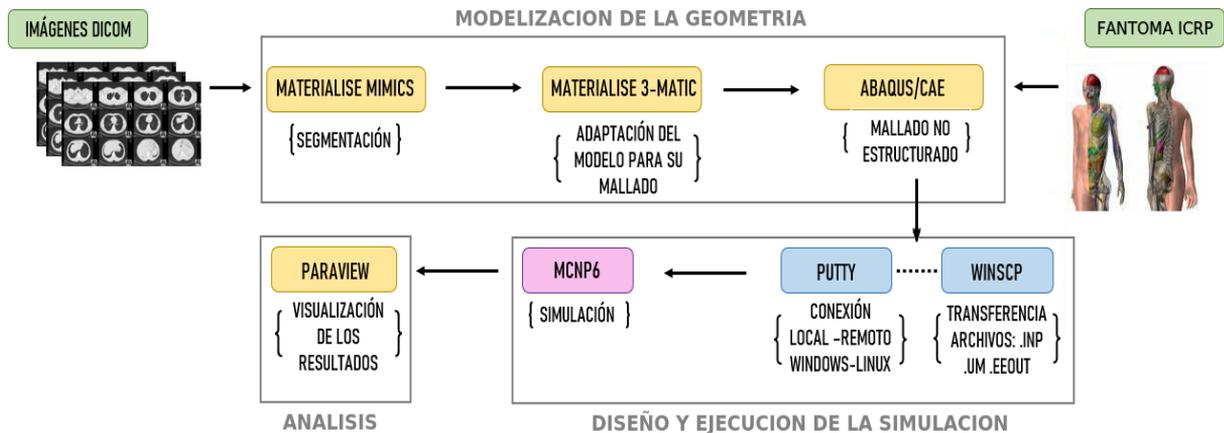


Fig. 1: Diagrama de flujo de las partes para llevar a cabo un tratamiento médico mediante simulación Monte Carlo.

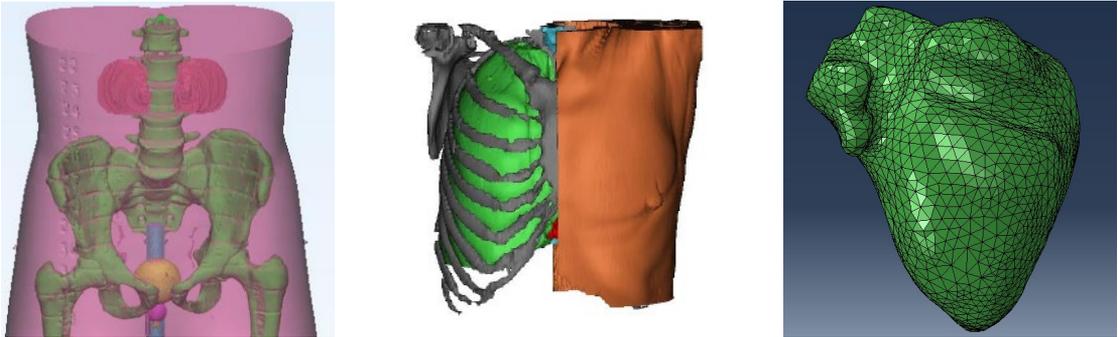
## 2.1 Modelización de la geometría

Para llevar a cabo el tratamiento, es necesario disponer de información anatómica del paciente. Según el tratamiento y escenario clínico a estudiar, al alumnado se le proporcionan imágenes en formato médico estándar, *Digital Imaging and Communication In Medicine* (DICOM) de los pacientes, o bien se les proporcionan las geometrías malladas de un fantoma humano realista (Kim & et al, 2020) genérico, distribuido por la *International Commision On Radiological Protection* (ICRP), denominado *Adult mesh-type reference computational phantoms*. Para el modelado y mallado de las geometrías, al alumnado se forma en el uso de diferentes programas de segmentación y mallado, así como programas de procesamiento y segmentación de imágenes, listados a continuación:

- Materialise Mimics: herramienta de segmentación utilizada para el diseño y modelado 3D a partir de imágenes DICOM, entre otros formatos.

- Materialise 3-Matic: herramienta que permite realizar modificaciones en el modelo 3D a nivel de malla para adaptarlos para la posterior simulación.
- Abaqus/CAE: herramienta que permite a los usuarios crear y editar geometría, la cual puede ser importada a partir de modelos CAD para su mallado o bien se pueden integrar mallas basadas en geometría que no tenga un modelo CAD asociado.

Algunos ejemplos de los resultados obtenidos en la modelización de la geometría se muestran en la Fig 2.



*Fig 2: Resultados obtenidos en diferentes TFG/TFM usando segmentación con Materialise a partir de imágenes DICOM (izquierda y centro) y mallado con Abaqus del fantoma de la ICRP (derecha).*

## 2.2 Diseño y ejecución de la simulación

Una vez se ha modelado la geometría y se ha exportado en el formato requerido por el código de simulación, los ficheros se transfieren a una plataforma que contiene toda la infraestructura para el diseño de la simulación. Mediante el uso de diferentes herramientas como WinSCP y Putty que permiten transferencia de archivos entre la máquina local y el *cluster* y la conexión entre plataformas Windows y Linux, respectivamente, el alumnado realiza el diseño de la simulación. Tal y como se ha descrito en la introducción, el uso de códigos de MC así como el diseño de las simulaciones, tiene asociada una elevada complejidad que requiere una pronunciada curva de aprendizaje, un tiempo considerable y un conocimiento profundo de todos los parámetros de simulación relacionados con la física de la radiación y la interacción radiación materia. Este aprendizaje queda fuera de las asignaturas a nivel de grado o máster, por lo que en este tipo de proyectos se introduce al alumnado de forma sencilla en el diseño y uso de simulaciones como una herramienta computacional para desarrollar su trabajo. Para ello se le proporcionan un conjunto de plantillas de ficheros de configuración según el tratamiento a simular. Las secciones relevantes para el desarrollo de los trabajos propuestos consisten en la descripción de la geometría, la configuración de la fuente de radiación y el registro de los resultados. Con este método, el alumnado es capaz de comprender el comportamiento de diferentes tipos de partículas, tratamientos con haces externos o internos evitando la necesidad de conocer en detalle todas las capacidades que ofrece el código de MC. En esta sección el alumnado aprende a:

- Modificar las plantillas de los ficheros de configuración de acuerdo a las necesidades del tratamiento.
- Estudiar la influencia del tipo de fuente de irradiación seleccionada: energía del espectro, tipo de partícula etc.
- Preparar el fichero de configuración para ser ejecutada la simulación MC.

- Comunicarse con un *cluster* Linux en remoto.
- Configurar simulaciones de sistemas complejos adquiriendo conocimientos básicos del método MC y la física del transporte de partículas y la interacción de radiación con la materia.

## 2.3 Análisis

Tras la obtención de resultados de la simulación, se lleva a cabo el proceso de análisis. En este punto el alumnado ha de ser capaz de realizar búsquedas bibliográficas para comparar sus resultados, realizar análisis de las incertidumbres asociadas al método MC y contrastar los resultados de los tratamientos realizados con los obtenidos por otros métodos en servicios hospitalarios. Para la visualización de los resultados, así como su análisis y comparación, el alumnado trabaja con Paraview, un software de análisis y visualización de datos multiplataforma, que permite obtener imágenes como las de la Fig. 3.

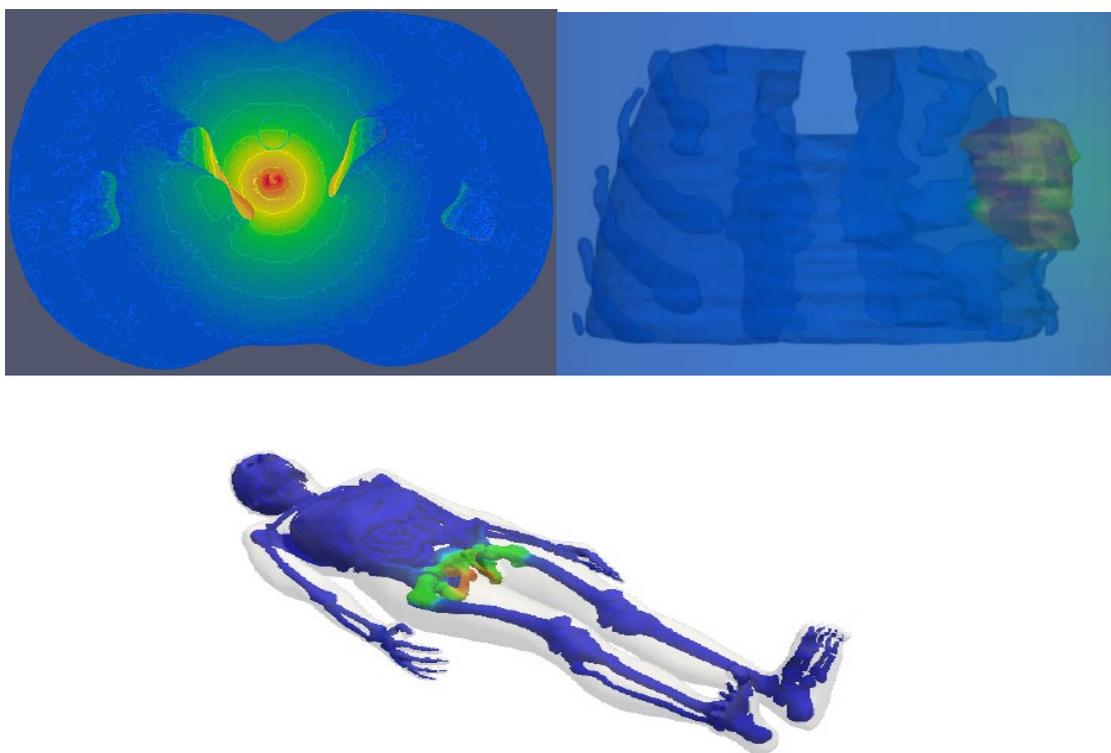


Fig. 3: Resultados con Paraview para su visualización y análisis

Las colaboraciones que el ISIRYM mantiene con diferentes hospitales y universidades de la Comunitat Valenciana, permite al alumnado realizar este conjunto de comparaciones. Además, mantienen contacto directo con profesionales del sector, lo que les permite conocer el alcance que tienen en la rutina clínica las metodologías utilizadas y desarrolladas en sus proyectos.

### 3. Resultados

En los 5 cursos académicos que el ISIRYM lleva ofreciendo este tipo de proyectos, todos los que se han desarrollado como TFG/TFM han obtenido la calificación de Sobresaliente, siendo esta calificación académica el principal indicador de la tasa de éxito de la innovación presentada. Además, en la defensa ante tribunal de los diferentes proyectos, siempre se ha valorado positivamente la originalidad de los trabajos, así como su relación directa con el trabajo desarrollado en hospitales y su aplicación a la sociedad actual. Comparando las notas numéricas de los trabajos que han formado parte de este trabajo, con el total de TFG/TFM presentados en las mismas titulaciones, se obtienen los siguientes resultados: en los cursos académicos correspondientes, la nota media global de los TFG/TFM es de un 8.96, mientras que la nota media de los trabajos que han formado parte de esta innovación es de 9.75, estando todos los trabajos por encima de la media global.

En el caso de las prácticas curriculares realizadas, los resultados han sido satisfactorios en todos los casos. Este hecho se asocia con la motivación despertada al alumnado a la hora de desarrollar proyectos directamente ligados con situaciones reales. En muchos casos, este interés ha perdurado en el tiempo y sus carreras profesionales siguen actualmente ligadas al ámbito de la física médica, bien por el camino de la investigación o de la especialidad de radiofísico hospitalario.

Algunos de los trabajos relacionados con tratamientos médicos que se han desarrollado en el ISIRYM se muestran en la Tabla 1.

*Tabla 1: Tipo de tratamiento, título y curso académico de los proyectos desarrollados en el grupo ISIRYM.*

<b>Tipo de tratamiento</b>	<b>Título del trabajo</b>	<b>Curso académico</b>
Braquiterapia	Estudio dosimétrico de un tratamiento de braquiterapia de mama mediante simulación por Monte Carlo	2022/2023
	Cálculo de la distribución de dosis impartida en tratamientos de braquiterapia de próstata	2021/2022
Medicina Nuclear	Estudio y determinación de dosis en órganos en tratamientos de Tiroides con yodo radioactivo mediante simulación Monte Carlo	2021/2022
	Estudio de dosimetría en tratamiento de cáncer de hígado empleando microesferas de Y-90 mediante simulaciones con Monte Carlo	2020/2021
	Cálculo tridimensional de dosis en tratamientos de CT/SPECT con emisor interno Lu-177 mediante técnicas de Monte Carlo	2018/2019
Radioterapia	Cálculo de la dosis recibida en órganos durante un tratamiento de cáncer de mama con teleterapia mediante simulaciones de Monte Carlo	2022/2023

	Diseño de un filtro aplanador para el acelerador de radioterapia intraoperatoria del hospital la Fe de Valencia	2020/2021
	Estudio de la protección radiológica respecto a la dosis periférica originada alrededor de un acelerador lineal (LinAc) para radioterapia intraoperatoria mediante simulaciones de Monte Carlo	2018/2019

Más allá de las calificaciones académicas, 4 trabajos, el 50% del total, han dado lugar a ponencias en congresos nacionales como el organizado anualmente por la Sociedad Nuclear Española (SNE), o el organizado bianualmente por la Sociedad Española de Física Médica (SEFM) y la Sociedad Española de Protección Radiológica (SEPR). Las sociedades mencionadas, convocan premios a los mejores trabajos de TFG y TFM, habiéndose presentado a dichas convocatorias 5 de los títulos de la Tabla 1 (75%), 3 de los cuales han llegado a ser finalistas, es decir un 60% de los presentados, y 2 de ellos ganaron el premio a mejor TFG y TFM respectivamente, otorgado por la SEPR, un 40% de los presentados.

Tal y como se describía en la sección de Introducción de este trabajo, los proyectos desarrollados dentro de la innovación presentada cubren las 5 dimensiones de competencias transversales. Tal y como verifican los tribunales de TFG/TFM, el alumnado adquiere, además, las competencias específicas asignadas a dichas asignaturas de forma satisfactoria.

#### 4. Conclusiones

En esta comunicación se enfatizan los beneficios que tiene sobre el alumnado desarrollar proyectos en las últimas etapas de su formación universitaria, relacionados con la física médica mediante simulación, una metodología de aprendizaje activo cumpliendo con los objetivos específicos propuestos en la innovación. En concreto en el ámbito de reproducir tratamientos médicos reales. Esto refuerza sus conocimientos en diferentes disciplinas estudiadas a lo largo de su formación, como dosimetría, física de partículas e interacción de la radiación con la materia, entre otros conceptos, todos ellos aplicados a la rutina clínica. Gracias a estos proyectos, el alumnado tiene la oportunidad de trabajar con profesionales de los hospitales, conocer dispositivos médicos de vanguardia y utilizar datos de tratamiento reales, lo que supone una experiencia enriquecedora tanto a nivel profesional como personal. Todo esto les entrena en un aprendizaje social, colaborativo y multidisciplinar como el que encontrarán en sus futuros puestos de trabajo, ayudándolos a formar su identidad profesional, objetivo de esta innovación. Además, los conceptos que se han vinculado directamente con casos reales tienen mayor perdurabilidad en el tiempo.

La metodología propuesta para el desarrollo de la innovación cubre las diferentes competencias básicas, generales y transversales requeridas para adquirir el título de Grado en Biomédica o de Máster de Seguridad Nuclear y Protección Radiológica, impartidos en UPV.

A partir de la propuesta descrita, se ha conseguido salvar la falta de implicación del alumnado en el desarrollo del TFG/TFM o prácticas curriculares. Los proyectos les resultan interesantes y se aprecia la motivación por realizar el trabajo propuesto, lo cual era objetivo principal de este trabajo. Además, se ha

conseguido que el alumnado sea consciente de las consecuencias de su trabajo, ya que mediante la simulación MC puede observar las consecuencias reales de las pequeñas diferencias en la configuración del escenario clínico. Con esta metodología se ponen en práctica los diferentes conceptos teóricos adquiridos por el alumnado, superando la brecha entre los conceptos teóricos y la práctica en el ámbito de la ingeniería.

## **Agradecimientos**

Los autores quieren agradecer al Instituto de Ciencias de la Educación de la UPV por impulsar los Equipos de Innovación y Calidad Educativa. En concreto, este trabajo se enmarca dentro del equipo denominado Simulación en la Enseñanza de las Radiaciones Ionizantes y la Seguridad Nuclear (SERISN). Agradecer también a la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial de la UPV por la información proporcionada para el desarrollo de este trabajo .

## **Referencias**

- Blanco, F., López, A., & López del Corral, M. P. (2012). Las prácticas preprofesionales como herramienta de inserción laboral para ingenieros industriales. *Profesorado: revista de currículum y formación del profesorado*, 16(1).
- Du-Babcock, B. (2016). Bridging the Gap from Classroom-based Learning to Experiential Professional Learning: A Hong Kong Case. *Dinamika Ilmu*, 16(2).
- Jennifer, F., Phyllis, B., & Alison, P. (2004). School Engagement: Potential of the Concept, State of the Evidence. *Review of Educational Research*, 79(1), 59-109.
- Kember, D., Ho, A., & Hong, C. (2008). The importance of establishing relevance in motivating student learning. *Active Learning in Higher Education*, 9(3), 249-263.
- Kim, C., & et al. (2020). ICRP Publication 145: Adult Mesh-Type Reference Computational Phantoms. *Annals of the ICRP*, 49(3), 13-201.
- Laird, N., Shoup, R., Kuh, G. D., & Schwarz, M. (2008). The Effects of Discipline on Deep Approaches to Student Learning and College Outcomes. *Research in Higher Education*, 469-494.
- Reedy, K., Alison, M. L., Reyes, L., & Pradilla, D. (2020). Improving employability skills through non-placement work-integrated learning in chemical and food engineering: A case study. *Education for Chemical Engineers*, 33, 91-101.
- Zhao, C., & Khu, G. (2004). Adding Value: Learning Communities and Student Engagement. *Research in Higher Education*, 45(2), 115-138.
- Zu, C. (2012). Student Satisfaction, Performance, and Knowledge Construction in Online Collaborative Learning. *Educational Technology & Society*, 15(1), 127-136.