

III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física

Málaga 17 – 19 de febrero de 2025

Libro de Resúmenes



Francisco Sendra Portero, Dolores Domínguez Pinos, Teodoro Rudolphi Solero, Lourdes de la Peña Fernández, Miguel José Ruiz Gómez



UNIVERSIDAD
DE MÁLAGA

Departamento de Radiología y Medicina Física, Oftalmología y Otorrinolaringología



ASOCIACIÓN DE PROFESORES UNIVERSITARIOS DE RADIOLOGÍA Y MEDICINA FÍSICA

Título original: *III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física.*

Sendra Portero, Fracisco; Domínguez Pinos, Dolores; Rudolphi Solero, Teodoro; de la Peña Fernández, Lourdes; Ruiz Gómez, Miguel José.

Edición: Asociación de Profesores Universitarios de Radiología y Medicina Física (APURF)

Nº Páginas: 301. Índice páginas: 5-6

Primera edición, 2025

© De cada capítulo, sus autores.



El presente trabajo se distribuye bajo licencia Atribución-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-SA 4.0).

<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/deed.es>

Usted es libre de:

-  **Compartir.** Copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato.
-  **Adaptar.** Remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente.

La licenciante no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia

Bajo las condiciones siguientes:

-  **Atribución** — Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante.
-  **CompartirIgual** — Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

La imagen de la portada ha sido descargada del portal Pixabay con licencia Pixabay: gratuita para usos comerciales sin necesidad de reconocimientos



Las opiniones expresadas y las referencias bibliográficas contenidas en esta obra son responsabilidad exclusiva de sus respectivos autores y no reflejan necesariamente los criterios de los editores ni de la APURF.

Cualquier forma de reproducción, distribución, comunicación pública o transformación de esta obra solo puede ser realizada con la autorización de sus titulares, salvo excepción prevista por la ley. Diríjase a CEDRO (Centro Español de Derechos Reprográficos, www.cedro.org) si necesita fotocopiar o escanear algún fragmento de esta obra.

ISBN: 978-1-300-31039-6

Depósito Legal: MA 614-2025



9 781300 310396

III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física (APURF)



PROGRAMA

Lunes 17 de febrero

17:00 Inauguración

Primera sesión: TFGs

- 17:10 **Cardiotoxicidad asociada a la radioterapia.** Victoria Gómez Aguilera, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. *Universidad de Murcia.*
- 17: 25 **Fermentación natural: El potencial de las aguas minerales naturales en la producción de kombucha.** Irene Gómez Romero. *Universidad Complutense de Madrid*
- 17:40 **Hallazgos radiológicos y diagnóstico diferencial de la insuficiencia cardíaca, neumonías atípicas y síndrome de distrés respiratorio agudo en pacientes con comorbilidades cardiorrespiratorias y oncológicas: análisis a partir de un caso clínico.** Carlos López Vila, Manuel García Cordeiro, Nerea Sánchez Varela, Juan Antonio Suárez Quintanilla, José Miguel Souto Bayarri. *Universidad de Santiago de Compostela*
- 17: 55 **Revisión sistemática: “efectividad de la estimulación transcranial de corriente directa (TDCS) en el tratamiento de pacientes diagnosticados de fibromialgia”.** M^a Esther Rubio Castillo, José Antonio García Gamuz. *Universidad de Murcia.*
- 18: 10 **Utilidad de la termografía para el análisis de la radioterapia externa sobre la piel.** Ferran Miralles Cabañero, Carlos Galindo González, Rosa M^a Cibrián, Rosario Salvador Palmer, Javier Vijande Asenjo. *Universidad de Valencia.*

Segunda sesión: Tesis doctorales

- 19:00 **Resident Debil: aprendizaje inmersivo 3D para la formación de residentes de radiodiagnóstico.** Pedro Aguado Linares, Marina Rodríguez Yanes, Paula Galván Vázquez, Francisco Sendra Portero. *Universidad de Málaga.*
- 19:15 **Dosis de radiación de los cirujanos podólogos que utilizan el intensificador de imagen en las condiciones de trabajo habitual.** Manuel Cobo Najar, Amparo Olivares Rueda, José Antonio García Gamuz, Ana Mercado Días, Miguel Alcaraz Baños. *Universidad de Murcia.*
- 19:30 **ECOE-RX: Experiencia docente de una mini ECOE virtual de radiología de urgencias en el metaverso Second Life.** Alba Virtudes Pérez Baena, Teodoro Rudolphi Solero, Dolores Domínguez Pinos, Rocío Lorenzo Álvarez, Francisco Sendra Portero. *Universidad de Málaga.*
- 19:45 **Elaboración de un modelo radiómico basado en TC cerebral sin contraste para predecir la etiología del ictus isquémico agudo.** Jacobo Porto Álvarez, Antonio Jesús Mosqueira Martínez, Miguel Souto Bayarri. *Universidad de Santiago de Compostela*
- 20:00 **Análisis del papel de las redes sociales como herramienta docente en Medicina.** Nerea Sánchez Varela, Iria Barreiro Vázquez, Miguel Souto Bayarri, Juan Antonio Suárez Quintanilla. *Universidad de Santiago de Compostela*

III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física (APURF)



PROGRAMA

Martes 18 de febrero

Primera sesión: TFGs

- 17:00 **Prácticas de simulación en la asignatura radiología II de la USC. Descripción de los simuladores empleados.** Manuel García Cordeiro, Carlos López Vila, José Martín Carreira Villamor. *Universidad de Santiago de Compostela.*
- 17:15 **Forjando el Futuro de la Radiología: La Experiencia Transformadora de los Estudiantes Tutores en la Docencia Práctica con Simulación en Radiología II de la USC.** Manuel García Cordeiro, Carlos López Vila, José Martín Carreira Villamor. *Universidad de Santiago de Compostela.*
- 17:30 **Los estudiantes de medicina ante la radiología mamaria: análisis de sus preferencias e inquietudes.** Natalia Quesada Jiménez, Francisco Sendra Portero. *Universidad de Málaga.*
- 17:45 **Revisiones sistemáticas sobre la enseñanza de la ecografía en la educación médica de pregrado.** María del Pilar Uribe Puyol, Dolores Domínguez Pinos, Rocío Lorenzo Álvarez, Teodoro Rudolph Solero, Francisco Sendra Portero. *Universidad de Málaga.*
- 18:00 **Determinación de los riesgos para la salud de la actividad radiológica en el puerto de Cartagena.** Emilio Martínez Segovia, Amparo Olivares, José Antonio García-Gamuz, Ramón Valerdi, Ana Mercado, Miguel Alcaraz. *Universidad de Murcia.*

Segunda sesión: TFGs

- 18:45 **Papel de enfermería en el manejo de pacientes con hepatocarcinoma tratados con Y90.** Olga Fernández Sánchez, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. *Universidad de Murcia.*
- 19:00 **Papel de enfermería en gammagrafía renal de pacientes trasplantados renales.** María Manchado Marín, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. *Universidad de Murcia.*
- 19:15 **Contribución de la Resonancia Magnética Multiparamétrica interpretada según PIRADS v2.1 a la precisión diagnóstica a través de la biopsia fusión RM/eco en el cáncer de próstata.** Alonso Moreno Iglesias. *Universidad Autónoma de Madrid.*
- 19:30 **¿Gestionamos correctamente las alertas de exceso de dosis radiológica en la asistencia clínica?** Un estudio piloto con la TC de cráneo. José Alberto Munuera Flores, Juana María Plasencia Martínez, Fernando Canales Melgarejo, Juan Carlos Sánchez Moreno, José María García Santos. *Universidad de Murcia.*
- 19:45 **Optimizando el Preprocesamiento de la Imagen por Resonancia Magnética: Estimación Ciega de Ruido con Campos Aleatorios Gaussianos.** Mario Pascual González, Ezequiel López Rubio, Francisco Sendra Portero, Almudena Pérez Lara. *Universidad de Málaga.*
- 20:00 **Comparación de la dosis de radiación en estudios de angiotomografía computarizada coronaria entre TC helicoidal multicorte y TC de energía dual.** Juan Carlos Sánchez Moreno, Juana María Plasencia Martínez, Fernando Canales Melgarejo, José Alberto Munuera Flores, José María García Santos. *Universidad de Murcia.*

Clausura: 20:15

PREFACIO

Es un honor presentar la monografía del III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física, un evento académico organizado conjuntamente por la Asociación de Profesores Universitarios de Radiología y Medicina Física (APURF) y el Departamento de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Málaga. Desde su primera edición, este congreso ha servido como una plataforma relevante para la difusión de trabajos científicos y educativos en Radiología y Medicina Física. La calidad y variedad de los estudios presentados, incluyendo Trabajos Fin de Grado (TFG), Trabajos Fin de Máster (TFM), Tesis Doctorales y proyectos de investigación, reflejan el compromiso de la comunidad académica con la formación y el avance en esta disciplina.

El apoyo del Vicerrectorado de Investigación y del área de Comunicación de la Universidad de Málaga ha sido fundamental para la creación del espacio Web y la difusión del evento, permitiendo que un mayor número de personas acceda a los contenidos generados. En esta edición, que ha contado con el respaldo científico de la Sociedad Española de Radiología Médica (SERAM), hemos reunido a más de 200 congresistas de nueve universidades, lo que da muestra del interés que despierta este encuentro en el ámbito académico.

Quiero expresar mi sincero agradecimiento a las personas que han hecho posible este congreso: a los ponentes, por compartir sus conocimientos; a los evaluadores, por su rigurosidad en la revisión de los trabajos; y al equipo organizador, por su dedicación en la planificación y desarrollo del evento. También quiero destacar la colaboración del profesor Miguel Alcaraz, de la Universidad de Murcia, cuyo apoyo fue clave para garantizar el buen funcionamiento de las sesiones virtuales.

Este congreso es un ejemplo del esfuerzo colectivo de la comunidad académica por fortalecer la investigación estudiantil y el aprendizaje colaborativo. Con la mirada puesta en el futuro, seguimos trabajando para que este evento continúe creciendo y consolidándose como un referente en la formación y divulgación científica en Radiología y Medicina Física.

Con gratitud y entusiasmo,

Francisco Sendra Portero

Presidente del III Congreso Nacional de Estudiantes de Radiología y Medicina Física

ÍNDICE

Cardiotoxicidad asociada a la radioterapia. Victoria Gómez Aguilera, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. <i>Universidad de Murcia</i>	1
Hallazgos radiológicos y diagnóstico diferencial de la insuficiencia cardíaca, neumonías atípicas y síndrome de distrés respiratorio agudo en pacientes con comorbilidades cardiorrespiratorias y oncológicas: análisis a partir de un caso clínico. Carlos López Vila, Manuel García Cordeiro, Nerea Sánchez Varela, Juan Antonio Suárez Quintanilla, José Miguel Souto Bayarri. <i>Universidad de Santiago de Compostela</i>	21
Revisión sistemática: “efectividad de la estimulación transcraneal de corriente directa (TDCS) en el tratamiento de pacientes diagnosticados de fibromialgia”. M ^a Esther Rubio Castillo, José Antonio García Gamuz. <i>Universidad de Murcia</i>	47
Utilidad de la termografía para el análisis de la radioterapia externa sobre la piel. Ferran Miralles Cabañero, Carlos Galindo González, Rosa M ^a Cibrián, Rosario Salvador Palmer, Javier Vijande Asenjo. <i>Universidad de Valencia</i>	61
Resident Debil: una experiencia de gamificación inmersiva 3D para residentes de radiodiagnóstico. Pedro Aguado Linares, Marina Rodríguez Yanes, Paula Galván Vázquez, Francisco Sendra Portero. <i>Universidad de Málaga</i>	71
Dosis de radiación de los cirujanos podólogos que utilizan el intensificador de imagen en las condiciones de trabajo habitual. Manuel Cobo Najar, Amparo Olivares Rueda, José Antonio García Gamuz, Ana Mercado Días, Miguel Alcaraz Baños. <i>Universidad de Murcia</i>	89
ECOE-RX: Experiencia docente de una mini ECOE virtual de radiología de urgencias en el metaverso Second Life. Alba Virtudes Pérez Baena, Teodoro Rudolphi Solero, Dolores Domínguez Pinos, Rocío Lorenzo Álvarez, Francisco Sendra Portero. <i>Universidad de Málaga</i>	101
Elaboración de un modelo radiómico basado en TC cerebral sin contraste para predecir la etiología del ictus isquémico agudo. Jacobo Porto Álvarez, Antonio Jesús Mosqueira Martínez, Miguel Souto Bayarri. <i>Universidad de Santiago de Compostela</i>	113
Análisis del papel de las redes sociales como herramienta docente en Medicina. Nerea Sánchez Varela, Iria Barreiro Vázquez, Miguel Souto Bayarri, Juan Antonio Suárez Quintanilla. <i>Universidad de Santiago de Compostela</i>	127
Prácticas de simulación en la asignatura radiología II de la USC. Descripción de los simuladores empleados. Manuel García Cordeiro, Carlos López Vila, José Martín Carreira Villamor. <i>Universidad de Santiago de Compostela</i>	141
Forjando el Futuro de la Radiología: La Experiencia Transformadora de los Estudiantes Tutores en la Docencia Práctica con Simulación en Radiología II de la USC. Manuel García Cordeiro, Carlos López Vila, José Martín Carreira Villamor. <i>Universidad de Santiago de Compostela</i>	153

Los estudiantes de medicina ante la radiología mamaria: análisis de sus preferencias e inquietudes. Natalia Quesada Jiménez, Francisco Sendra Portero. <i>Universidad de Málaga</i>	163
Revisiones sistemáticas sobre la enseñanza de la ecografía en la educación médica de pregrado. María del Pilar Uribe Puyol, Dolores Domínguez Pinos, Rocío Lorenzo Álvarez, Teodoro Rudolphi Solero, Francisco Sendra Portero. <i>Universidad de Málaga</i>	171
Determinación de los riesgos para la salud de la actividad radiológica en el puerto de Cartagena. Emilio Martínez Segovia, Amparo Olivares, José Antonio García-Gamuz, Ramón Valerdi, Ana Mercado, Miguel Alcaraz. <i>Universidad de Murcia</i> .	183
Papel de enfermería en el manejo de pacientes con hepatocarcinoma tratados con Y90. Olga Fernández Sánchez, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. <i>Universidad de Murcia</i>	195
Papel de enfermería en gammagrafía renal de pacientes trasplantados renales. María Manchado Marín, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños. <i>Universidad de Murcia</i> .	211
Contribución de la Resonancia Magnética Multiparamétrica interpretada según PIRADS v2.1 a la precisión diagnóstica a través de la biopsia fusión RM/eco en el cáncer de próstata. Alonso Moreno Iglesias, Carmen Martínez Hervás. <i>Universidad Autónoma de Madrid</i>	229
¿Gestionamos correctamente las alertas de exceso de dosis radiológica en la asistencia clínica? Un estudio piloto con la TC de cráneo. José Alberto Munuera Flores, Juana María Plasencia Martínez, Fernando Canales Melgarejo, Juan Carlos Sánchez Moreno, José María García Santos. <i>Universidad de Murcia</i>	249
Optimizando el Preprocesamiento de la Imagen por Resonancia Magnética: Estimación Ciega de Ruido con Campos Aleatorios Gaussianos. Mario Pascual González, Ezequiel López Rubio, Francisco Sendra Portero, Almudena Pérez Lara. <i>Universidad de Málaga</i>	259
Comparación de la dosis de radiación en estudios de angiotomografía computarizada coronaria entre TC helicoidal multicorte y TC de energía dual. Juan Carlos Sánchez Moreno, Juana María Plasencia Martínez, Fernando Canales Melgarejo, José Alberto Munuera Flores, José María García Santos. <i>Universidad de Murcia</i> .	275

CARDIOTOXICIDAD ASOCIADA A LA RADIOTERAPIA

Victoria Gómez Aguilera, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños
Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia
v.gomezaguilera@um.es, anamaria.mercado@um.es, mab@um.es

RESUMEN

A medida que aumenta la prevalencia de la radioterapia y otros procedimientos médicos que utilizan radiación, es de gran importancia comprender cómo esta exposición puede influir en el desarrollo de enfermedades cardiovasculares a largo plazo. Esto se vuelve aún más crucial dado el creciente número de sobrevivientes de cáncer que enfrentan riesgos cardiovasculares debido a tratamientos previos de radioterapia. Por lo tanto, esta investigación propone analizar la asociación entre la exposición a la radiación y el aumento del riesgo relativo de enfermedades cardiovasculares. A través de la literatura científica, se realizará la identificación de los factores de riesgo asociados y se evaluarán las técnicas de imagen utilizadas en la detección precoz de estas complicaciones cardiovasculares. Además, se examinará su relación con la dosis y el tiempo transcurrido desde la exposición. Esta comprensión ayudará a mejorar la seguridad de los pacientes, optimizar los protocolos de tratamiento y desarrollar estrategias preventivas más efectivas.

INTRODUCCIÓN

La radioterapia constituye una intervención ampliamente empleada en el abordaje terapéutico del cáncer. Sin embargo, la exposición del corazón a la radiación puede incrementar el riesgo de enfermedad cardíaca. Además, la radioterapia en el tórax puede aumentar el riesgo de enfermedad cardíaca en casos de linfoma de Hodgkin, cáncer infantil, cáncer de esófago y cáncer de pulmón. La cardiopatía isquémica es la complicación cardíaca más común relacionada con la radiación, y el riesgo está directamente relacionado con la dosis promedio de radiación recibida en el área cardíaca ⁽¹⁾.

PATOLOGÍAS CARDIACAS ASOCIADAS A LA RADIOTERAPIA

Las complicaciones cardiovasculares representan la causa más frecuente de muerte no relacionada con el cáncer entre los sobrevivientes oncológicos que han sido sometidos a

radioterapia. Este riesgo se ve aumentado por la combinación de quimioterapia y factores de riesgo cardiovascular, como diabetes, hipertensión, obesidad y dislipidemia. La incidencia estimada de enfermedad cardíaca inducida por la radiación (RIHD) oscila entre el 10 % y el 30 % después de 5 a 10 años de haber finalizado el tratamiento, variando según el tiempo de exposición a la radioterapia y el tipo de cáncer tratado ⁽²⁾.

La radioterapia afecta el corazón a través de diversos mecanismos, dependiendo de la estructura cardíaca específica involucrada. A nivel anatomopatológico, su impacto en los vasos coronarios se asemeja a la aterosclerosis. Las células endoteliales coronarias lesionadas por la radiación experimentan estrés oxidativo y liberan citocinas proinflamatorias/profibroticas, lo que resulta en la deposición de colágeno y la proliferación de varias células cardíacas. En un período de 2 a 4 años, la radioterapia también puede dañar el miocardio, causando daño al sistema microvascular, inflamación y eventual muerte celular, lo que conduce a la sustitución del tejido miocárdico por tejido fibrótico ⁽³⁾.

Los efectos adversos de la radioterapia dirigida al corazón y a las arterias coronarias abarcan un espectro que incluye pericarditis, enfermedad arterial coronaria, arritmias, miocardiopatía, disfunción valvular e insuficiencia cardíaca. La pericarditis y los derrames pericárdicos representan posibles toxicidades a corto plazo que pueden surgir durante el tratamiento o en las semanas posteriores. Por otro lado, los efectos secundarios a largo plazo pueden manifestarse meses o años después de la radioterapia, incluso hasta 20 años o más tras el tratamiento (Figura 1). Entre estos efectos tardíos se encuentran en la enfermedad arterial coronaria, valvulopatía e insuficiencia cardíaca.

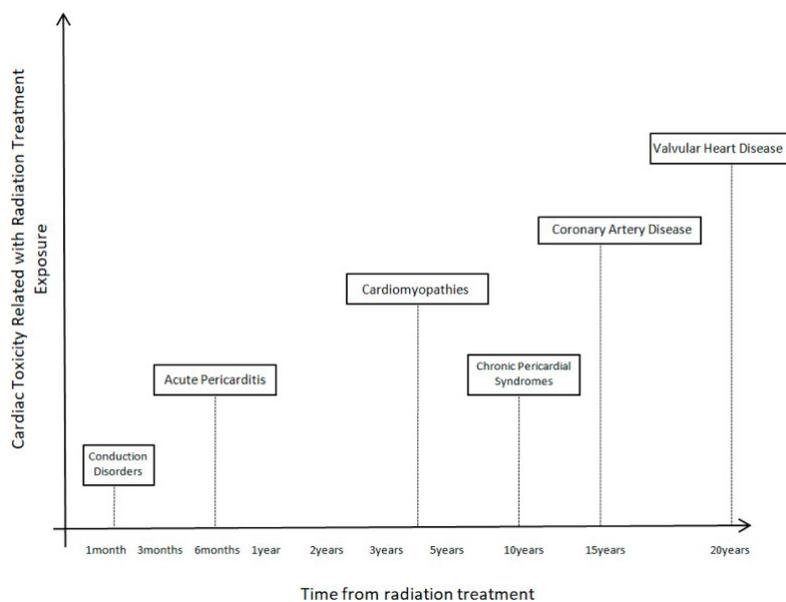


Figura 1. Evolución temporal de los efectos tóxicos cardíacos después de la radioterapia

- **Pericarditis:** el proceso clínico de la pericarditis se compone de cuatro etapas, abarcando desde la pericarditis aguda y crónica hasta la pericarditis fibrinosa y su evolución final hacia la pericarditis constrictiva. Antes de optimizar la técnica de radioterapia, aproximadamente el 80 % de los pacientes irradiados desarrollaban pericarditis aguda. La presencia de un derrame pericárdico puede predisponer a la pericarditis crónica, aunque solo el 20% de los pacientes progresa hacia pericarditis constrictiva sintomática ⁽⁵⁾, observándose un aumento en la frecuencia de engrosamiento de la capa pericárdica en el 33% de los pacientes después de más de 20 años ⁽⁶⁾. La morbilidad es dosis dependiente a la radiación recibida por el corazón; un incremento de 10 Gy en la dosis se correlaciona con un aumento quíntuple en la morbilidad. A pesar de que la incidencia de pericarditis ha disminuido al 6-10% con la mejora de las técnicas y programas de protección en radioterapia, los estudios sugieren un riesgo continuo entre las sobrevivientes de cáncer de mama.
- **Miocardiopatía:** los síntomas clínicos de la lesión miocárdica se manifiestan tardíamente, principalmente como fibrosis miocárdica. Se ha demostrado un período de incubación de diez años, presentando daños irreversibles durante el diagnóstico. Dado que la mayoría de estas lesiones no producen síntomas clínicos, la tasa de diagnóstico clínico es baja, alrededor del 10%. Entre las anomalías ecocardiográficas más comunes están el trastorno del movimiento de la pared regional, especialmente en la pared inferior, una leve hipertrofia ventricular izquierda y disfunción diastólica, derivada de insuficiencia cardíaca congestiva grave ⁽⁵⁾. La lesión miocárdica es frecuente en pacientes tratados con quimioterapia con antraciclinas o dosis altas de radiación (> 60Gy). Aquellos expuestos a dosis altas de radioterapia tienden a desarrollar una lesión miocárdica restrictiva, mientras que aquellos sometidos a quimio y radioterapia tienen mayor propensión a una lesión miocárdica diastólica ⁽⁷⁾.
- **Enfermedad de las arterias coronarias:** la lesión de la arteria coronaria inducida por la radiación se relaciona con la presencia de aterosclerosis coronaria. La radioterapia puede producir un daño a nivel microvascular y promover la aparición temprana de enfermedad arterial coronaria (EAC) en pacientes con alto riesgo. La radiación conduce a disfunción endotelial vascular, culminando en eventos cardiovasculares clínicos que suelen manifestarse muchos años después de completar el tratamiento radiológico. Su progresión es asintomática durante un período prolongado, de 15 a 20 años después del tratamiento inicial, pudiendo manifestarse como cardiopatía isquémica estable. En ocasiones menos comunes, pueden surgir complicaciones como espasmos coronarios o

accidentes de placa con trombosis aguda resultante, lo que puede llevar a síndromes coronarios agudos o incluso muerte súbita como manifestación inicial. Las arterias más afectadas suelen ser la descendente anterior en el tratamiento del cáncer de mama izquierdo, así como el tronco de la coronaria izquierda, la arteria circunfleja y la coronaria derecha después de la terapia para el linfoma de Hodgkin ⁽⁸⁾.

- **Cardiopatía valvular:** la isquemia miocárdica y la hipoxia, derivadas de la fibrosis miocárdica y las enfermedades coronarias, son las causas fundamentales de la lesión de la función valvular. La enfermedad cardíaca valvular (VHD) inducida por radioterapia presenta un período de incubación mucho más prolongado en comparación con otros tipos de enfermedades cardíacas radios inducidas. Generalmente, los pacientes desarrollan síntomas más tarde en la enfermedad coronaria, y es crucial tener en cuenta esta latencia. Los sobrevivientes asintomáticos tratados hacen más de 20 años presentan un mayor riesgo de complicaciones, como insuficiencia aórtica (60% vs. 4%), regurgitación tricúspidea (4% vs. 0%) y estenosis aórtica (16% vs. 0%), en comparación con aquellos tratados dentro de los 10 años ⁽⁹⁾. La incidencia de VHD está ligada a las dosis de radiación y al uso de antraciclinas. La reducción de la dosis se asoció con una disminución gradual de la incidencia acumulada de VHD a lo largo de 30 años, pasando de un 12.4% a dosis superiores a 40 Gy a un 3% a dosis inferiores a 30 Gy.
- Los primeros cambios patológicos en la VHD incluyen contracción valvular y reflujo asociado, principalmente en las válvulas mitral y aórtica, dentro de los primeros 10 años posteriores a la radioterapia. La progresión hacia el engrosamiento, la calcificación y la estenosis valvular ocurre más tarde, con la estenosis 20 años después de la RT. La regurgitación mitral y aórtica son las manifestaciones más comunes de VHD, siendo la estenosis una complicación posterior ⁽¹⁰⁾.
- **Anomalía del sistema de conducción:** inducida por radioterapia generalmente se manifiesta como bloqueo auriculoventricular, síndrome del nódulo sinusal, prolongación del intervalo QTc, arritmias supraventriculares y taquicardia ventricular. Siendo el bloqueo de rama derecha la alteración más frecuente en la conducción por su proximidad con el endocardio ⁽⁸⁾. La incidencia de estas anomalías es del 5%, y se desarrollan a los 2 meses del final del tratamiento con radioterapia. Aunque el 70% de las anomalías del electrocardiograma pueden regresar a la normalidad después de seis meses de radioterapia, la tasa de incidencia aún se incrementa en comparación con la previa al tratamiento. Estos hallazgos indican que el efecto de la radioterapia en el corazón es parcialmente reversible, pero aún puede ocasionar algún grado de daño cardíaco ⁽¹⁰⁾.

Existen registros de bloqueo auriculoventricular avanzado, que incluso incluyen el bloqueo cardíaco total, necesitando la instalación de un marcapasos permanente, aunque estos casos son poco frecuentes ⁽¹¹⁾.

MODELOS DE IMAGEN PARA DETECCIÓN DE TOXICIDADES CARDIOVASCULARES

- **Ecocardiografía:** destaca como modalidad de imagen primaria en la mayoría de los casos por su inocuidad y amplia disponibilidad. Permite el diagnóstico de disfunción ventricular sistólica o diastólica, así como enfermedades valvulares cardíacas y síndromes pericárdicos. Las imágenes ecocardiográficas bajo esfuerzo resultan útiles para la detección temprana de efectos adversos, incluso antes de que la enfermedad cardíaca se manifieste estructuralmente ⁽¹²⁾. Aunque ofrece ventajas como alta disponibilidad y reproducibilidad, presenta desventajas como variabilidad intra e Inter observador, y la calidad de imagen puede estar limitada por la tecnología del equipo. Además, su valor predictivo para la detección temprana de daños subclínicos es cuestionable.
- **Resonancia magnética cardíaca (RMC):** se considera el estándar de referencia para evaluar la fracción de eyección del ventrículo izquierdo y detectar edema miocárdico y cambios fibróticos. Cuando la ecocardiografía no puede evaluar la estenosis aórtica, la RMC puede medir el área de la válvula aórtica y las velocidades de esta. Sin embargo, es más efectiva en la identificación de lesiones valvulares regurgitantes que en las estenóticas ⁽¹⁴⁾. Además, complementa los hallazgos ecocardiográficos y de TC para detectar precozmente el daño cardíaco por radiación. Ofrece detalles sobre la función ventricular izquierda, la fracción de eyección y la evaluación de la isquemia en pacientes con EAC. Junto con la ecocardiografía, ayuda a cuantificar la valvulopatía, evaluar la fibrosis miocárdica y los síndromes pericárdicos ⁽¹²⁾. Sus ventajas incluyen ser el estándar de oro en la evaluación de la fracción de eyección, analizar de manera simultánea los de tipos específicos de lesiones miocárdicas, como el edema y la fibrosis ⁽¹³⁾, además de su alta resolución y reproducibilidad. No obstante, tiene costos elevados, disponibilidad limitada y riesgos como la claustrofobia del paciente y reacciones alérgicas al medio de contraste ⁽⁸⁾.
- **Tomografía computarizada cardíaca:** proporciona imágenes anatómicas que permiten detectar la enfermedad coronaria en sus primeras etapas, antes de que se desarrolle la isquemia, facilitando así el uso anticipado de medicamentos preventivos. Esta técnica también permite la evaluación con medio de contraste para diferenciar los

tejidos, calcular puntuaciones de calcificación en válvulas o arterias coronarias, y estimar la función valvular y cardíaca. La angiografía coronaria por TC se emplea con fines diagnósticos para detectar enfermedades arteriales coronarias y obstrucciones vasculares, siendo útil también para la evaluación de enfermedades vasculares como los aneurismas. Entre sus ventajas se encuentra la evaluación precisa de la estenosis coronaria y la medición de calcio, mientras que sus desventajas incluyen la exposición a la radiación, una resolución temporal inferior.

- **Medicina nuclear:** abarca la tomografía computarizada de emisión de fotón simple y la tomografía de emisión de positrones, ambas utilizando tecnologías distintas para proporcionar información que ayuda a determinar la presencia y extensión de enfermedades cardíacas. Entre sus ventajas está evaluar la función y perfusión miocárdica, identificar cicatrices postinfarto de miocardio y miocardio viable y determinar con precisión la fracción de eyección del ventrículo izquierdo. Además, presenta una baja variabilidad intra e Inter observador, y alta reproducibilidad y disponibilidad. Sin embargo, una desventaja importante es la exposición a la radiación que conlleva esta técnica.

Los objetivos que se pretenden alcanzar son los siguientes:

1. Analizar la asociación entre la exposición a la radiación y el aumento del riesgo relativo de enfermedades cardiovasculares.
2. Recopilar y sintetizar la literatura científica relacionada con los mecanismos conocidos de toxicidades cardíacas inducidas por la radiación.
3. Investigar los factores de riesgo que contribuyen a la toxicidad cardíaca relacionada con la radioterapia.
4. Evaluar técnicas de imagen, como la ecocardiografía, la resonancia magnética cardíaca y la tomografía computarizada, en la detección precoz de toxicidades cardiovasculares.

Estos objetivos han sido respondidos mediante una revisión bibliográfica de la literatura científica. Los pasos para seguir en la búsqueda de la literatura científica han sido los siguientes: búsqueda de la evidencia científica, análisis y evaluación crítica y, por último, síntesis de la literatura seleccionada.

BÚSQUEDA DE EVIDENCIA CIENTÍFICA

Las palabras claves utilizadas para realizar la búsqueda bibliográfica han sido: “Cardiovascular Toxicities” “Radiation Therapy” “Cardiotoxicity” “Radiotherapy” “Cardiac Toxicities”

“Radiation Treatment” “Myocardial toxicity” “Radiation” “Heart Disease” “Radiation induced heart disease” “Cardiovascular Disease” “Radiation Effects”. Combinado con el operador booleano AND y OR.

Los artículos fueron seleccionados en primera instancia tras una lectura comprensiva del abstract o resumen, seleccionando aquellos que más se adecuan con este trabajo de fin de grado.

Las bases de datos utilizados han sido Pubmed, Scielo, LILACS. Siendo Pubmed el mayor motor de búsqueda donde se ha encontrado mayor número de documentos relevantes dentro de los criterios de inclusión seleccionados.

BASES DE DATOS

PubMed

Para realizar la búsqueda en esta base de datos, primero se introdujeron las palabras clave en el tesoro de Medline, MeSH. Estas fueron:

- Radiotherapy: The use of ionizing radiation to treat malignant neoplasms and some benign conditions. (El uso de radiación ionizante para tratar neoplasias malignas y algunas afecciones benignas). Como sinónimos utilice: “Radiation Therapy”, “Radiation Treatment”.

- Cardiotoxicity: Damage to the heart or its function secondary to exposure to toxic substances such as drugs used in chemotherapy; immunotherapy; or radiation. (Daño al corazón o a su función secundaria a la exposición a sustancias tóxicas como los medicamentos utilizados en la quimioterapia; inmunoterapia; o radiación). Utilicé como sinónimos: “Myocardial toxicity” “Cardiovascular Toxicities”.

- Cardiovascular Disease: Pathological conditions involving the cardiovascular system including the heart; the blood vessels; or the pericardium. (Condiciones patológicas que involucran el sistema cardiovascular, incluido el corazón; los vasos sanguíneos; o el pericardio). Empléé como sinónimo: “Heart Disease”.

- Radiation: Emission or propagation of acoustic waves (sound), electromagnetic energy waves (such as light; radio waves; gamma rays; or x-rays), or a stream of subatomic particles (such as electrons; neutrons; protons; or alpha particles). Emisión o propagación de ondas acústicas (sonido), ondas de energía electromagnética (como la luz; ondas de radio; rayos gamma; o rayos X), o una corriente de partículas subatómicas (como electrones; Neutrones; Protones; o partículas alfa).

- Radiation Effects: The effects of ionizing and nonionizing radiation upon living organisms, organs and tissues, and their constituents, and upon physiologic processes. It includes the

effect of irradiation on food, drugs, and chemicals. Efectos de las radiaciones ionizantes y no ionizantes sobre los organismos, órganos y tejidos vivos, y sus constituyentes, y sobre los procesos fisiológicos. Incluye el efecto de la irradiación en alimentos, medicamentos y productos químicos.)

También se emplea como lenguaje libre "Radiation induced heart disease" en Pubmed encontrado 64 resultados.

Todas las búsquedas en Pubmed se realizan con los siguientes filtros: texto completo gratuito, artículos publicados en los últimos 5 años (2019-2024),

Utilizando la siguiente cadena de datos en Pubmed ("Radiotherapy"[Mesh]) AND ("Cardiotoxicity"[Mesh]) se ha obtenido 45 resultados. Con la cadena ("Cardiovascular Diseases"[Mesh]) AND ("Radiotherapy"[Mesh]) obtenemos 342.

("Cardiotoxicity"[Mesh]) AND ("Radiation Effects"[Mesh]) 18 resultados. ("Cardiotoxicity"[Mesh]) AND ("Radiation"[Mesh]) 40 resultados añadiendo el criterio de ser revisión sistemática.

(Radiotherapy OR Radiation Therapy OR Radiation Treatment) AND (Cardiotoxicity OR Myocardial toxicity OR Cardiovascular Toxicities) 71 resultados.

(Radiotherapy OR Radiation Therapy OR Radiation Treatment) AND (Cardiovascular Disease OR Heart Disease) 85 resultados añadiendo el filtro de revisión sistemática (Cardiotoxicity OR Myocardial toxicity OR Cardiovascular Toxicities) AND (Radiation) 55 resultados añadiendo el filtro de revisión sistemática.

LILACS

La cadena de búsqueda utilizada es esta base de datos fue "Cardiovascular Toxicities AND Radiation Therapy" obteniendo 5 resultados con el criterio de ser publicado en los últimos 5 años, solo uno de ellos fue significativo para la investigación. Las demás combinaciones no dieron resultados relevantes.

SciELO

Se propusieron distintas combinaciones, siendo la cadena "Radiotherapy AND Cardiotoxicity" la única con datos relevantes. Se obtuvieron 8 resultados sin aplicar filtro, de los que solo 2 fueron destacables, publicados en 2018.

EVALUACIÓN CRÍTICA

El análisis de los documentos obtenidos en la búsqueda bibliográfica presenta los siguientes criterios de inclusión:

- Publicados con un margen de 6 años (2018-2024).
- Artículos con un acceso gratuito.
- Artículos científicos de investigaciones originales.
- Estudios que tratan sobre los efectos cardio tóxicos que produce la radioterapia.

Los criterios de exclusión son los siguientes:

- Artículos que no son investigaciones originales.
- Artículos con un acceso de pago.
- Documentos que no responden al tema de estudio

RESULTADOS

ARTÍCULO: IONISING RADIATION AND CARDIOVASCULAR DISEASE: SYSTEMATIC REVIEW AND META-ANALYSIS ⁽¹⁵⁾

Objetivo: revisar sistemáticamente y realizar un metaanálisis sobre los potenciales riesgos de enfermedad cardiovascular asociados a la exposición a radiación, tanto en contextos terapéuticos como diagnósticos, dentro de diversas cohortes. Evaluando especialmente los riesgos entre los grupos expuestos a niveles más bajos de dosis de radiación (con dosis máxima $<0,5$ Gy) o baja tasa de dosis (<5 mGy/h).

Material y métodos: en octubre de 2022, se realizaron búsquedas sistemáticas en PubMed/Medline, Embase, Scopus y Web of Science's Core Collection, recopilando un total de 15,098 artículos. Posteriormente, dos revisores independientes codificaron la información de los 93 artículos seleccionados en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Se emplearon métodos semiautomatizados para preparar una base de datos analítica, verificando la codificación por un tercer autor. La información codificada incluyó la clasificación de la exposición a la radiación como crónica (exposición a tasas de dosis bajas <5 mGy/h) o aguda (superior a 5 mGy/h), distinguiendo entre tasas de dosis bajas y altas. Se utilizaron cuatro subtipos principales de enfermedades cardiovasculares para la categorización: cardiopatía isquémica, cardiopatía aparte de la isquémica, enfermedad cerebrovascular y otros tipos de enfermedades cardíacas.

En cuanto a la dosis absorbida, la mayoría de los estudios emplearon la dosis absorbida no ponderada en grays (Gy), aunque algunos utilizaron la dosis absorbida ponderada, considerando la eficacia biológica de los neutrones frente a los fotones. Esta elección se basó en un modelo que ajusta la tasa de enfermedad o mortalidad excesiva. Adicionalmente, se recopiló información sobre la dosis y la tasa máximas de dosis de radiación, así como la edad en el momento de la exposición. Se agrupó a todos los sobrevivientes de linfoma de Hodgkin

como adultos jóvenes para fines de análisis, mientras que se asumió que los sobrevivientes de otros cánceres fueron tratados en la edad adulta, excepto en casos de tratamiento durante la infancia.

Resultados: muestra que la exposición a la radiación se relaciona con un aumento del riesgo relativo de estas enfermedades. Este aumento del riesgo se observó tanto para la enfermedad cardiovascular en general como para subtipos específicos como la cardiopatía isquémica y las enfermedades cerebrovasculares. Siendo para todas las enfermedades cardiovasculares (0,11 [intervalo de confianza del 95%: 0,08 a 0,14]), cardiopatías isquémicas (0,07 [0,05 a 0,10]), otras cardiopatías (0,03 [0,02 a 0,05]), enfermedades cerebrovasculares (0,19 [0,09 a 0,28]) y otras enfermedades cardiovasculares (0,17 [-0,03 a 0,37]). Se encontró que este aumento del riesgo es significativo incluso para dosis de radiación relativamente bajas, siendo mayor para dosis máximas inferiores a 0,5 Gy (0,45 por Gy [intervalo de confianza del 95%: 0,06 a 0,84]). Además, se encontró una heterogeneidad significativa en los resultados, lo que sugiere diferencias en el riesgo entre los estudios. Sin embargo, cuando se analizaron estudios de mayor calidad, los resultados fueron consistentes y mostraron un aumento del riesgo relativo incluso a dosis bajas y tasas de dosis bajas. En general, los resultados indican una asociación entre la exposición a la radiación y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares, particularmente en dosis más bajas.

Conclusión: esta revisión respalda la relación entre la exposición a dosis altas de radiación de forma aguda y a dosis bajas de forma crónica con la mayoría de los tipos de enfermedades cardiovasculares. La exposición a dosis y tasas bajas se asocia comúnmente con un mayor riesgo por unidad de dosis. Aunque la heterogeneidad de los datos dificulta la interpretación causal de estos hallazgos, esta heterogeneidad se reduce considerablemente al limitar la atención a estudios de mayor calidad o con dosis y tasas de dosis más bajas. Nuestros resultados sugieren que los efectos negativos de la radiación podrían haber sido subestimados, lo que indica que las estrategias de protección radiológica y la optimización de las dosis bajas necesitan una revisión. En contraste con las dosis y tasas más altas, los posibles mecanismos de riesgo con dosis más altas son poco conocidos, destacando la necesidad urgente de continuar investigando en esta área.

ARTÍCULO: RADIATION TREATMENT MECHANISMS OF CARDIOTOXICITY: A SYSTEMATIC REVIEW ⁽¹²⁾

Objetivo: recopilar y sintetizar la literatura científica concerniente a los mecanismos conocidos de las toxicidades cardíacas inducidas por la radiación.

Material y métodos: se recopilaron documentos publicados hasta octubre de 2022. Se revisaron 1429 publicaciones, 43 cumplieron los criterios de inclusión y se seleccionaron para la revisión global. Estos documentos contienen información sobre los mecanismos de cardiotoxicidad que produce el tratamiento con radiación, e intervalo de tiempo transcurrido desde la exposición a la radiación hasta la manifestación de la toxicidad cardíaca, la dosis total de radiación y los factores de riesgo asociados a la radiación para la enfermedad cardiovascular.

Resultados: el riesgo de toxicidad cardíaca asociado a la radioterapia está influenciado por varios factores, incluyendo la dosis total de radiación recibida, el volumen del corazón expuesto a la radiación, la edad del paciente en el momento de la exposición especialmente si la dosis supera los 30-50 Gy, la dosis fraccionada, el tiempo transcurrido desde la exposición, el uso de otros agentes quimioterapéuticos y los factores de riesgo cardiovasculares clásicos. Diversos aspectos, como la composición celular, la diferenciación y la sensibilidad a la radiación celular, determinan la gravedad de las toxicidades potenciales. El corazón adulto no se regenera completamente cuando ha completado su desarrollo, lo que lo hace relativamente resistente a los efectos de la radiación. Sin embargo, diferentes niveles de dosis de radioterapia pueden desencadenar toxicidades cardíacas, dependiendo del tipo de cáncer tratado. La acumulación de dosis y la cercanía al tejido cardíaco, siendo determinantes significativos de la toxicidad cardíaca.

Una dosis mayor de 30 Gy puede ser suficiente para crear efectos tóxicos en el corazón y, en combinación con la quimioterapia, estas dosis de radiación se pueden reducir a 20 Gy para generar toxicidad. Gracias al avance de las técnicas de radioterapia, se puede utilizar una dosis cardíaca media menor de 10 Gy, pudiendo ser suficiente para tratar a pacientes oncológicos, minimizando así la exposición a la radiación en los tejidos cardíacos. Para pacientes con cáncer de esófago o pulmón un volumen irradiado a 40 Gy podría causar importantes efectos secundarios, mientras que en pacientes con cáncer de mama un aumento de dosis cardíaca media de 5 Gy podría aumentar significativamente los efectos nocivos sobre los tejidos cardíacos. En cuanto a la media de tiempo con efectos adversos cardíacos, la mayoría de los casos de enfermedad coronaria tras radioterapia se manifiestan entre los 10 y 30 años, presentando los pacientes oncológicos mayor extensión y gravedad que los no oncológicos. El intervalo medio de manifestación de valvulopatías se produce en torno a 23 años después de la exposición a la radiación, mientras que la incidencia de miocardiopatía se necesita 3 a 4 años de media desde la exposición a radiación para que aparezcan estas toxicidades clínicas. La mayoría de los casos son clínicamente con síntomas de insuficiencia cardíaca.

La detección precoz de toxicidades cardiovasculares es fundamental, y se utilizan diversas técnicas de imagen, como la ecocardiografía y la resonancia magnética cardíaca, para evaluar la función cardíaca y detectar posibles anomalías. La ecocardiografía es preferida en muchos casos debido a su ausencia de efectos adversos y a su alta disponibilidad. Este método permite la detección de anomalías en el movimiento de la pared regional y la disminución de la función sistólica del ventrículo izquierdo, particularmente en pacientes con enfermedad coronaria. Por otro lado, la resonancia magnética cardíaca destaca por su capacidad para diagnosticar diversas toxicidades cardiovasculares, abordando el diagnóstico diferencial de la insuficiencia cardíaca y las miocardiopatías, así como proporcionando información detallada sobre la función valvular y la gravedad de la enfermedad. La resonancia magnética complementa los hallazgos obtenidos mediante ecocardiografía y tomografía computarizada (TC), contribuyendo significativamente al diagnóstico y pronóstico de la función cardíaca.

Conclusión: numerosos mecanismos fisiopatológicos se presumen responsables de las toxicidades cardiovasculares inducidas por la radioterapia. Diversos factores de riesgo vinculados a la radioterapia, tales como la ubicación del haz de radiación (principalmente los tejidos adyacentes como el pulmón, la mama, el esófago y el mediastino), la dosis total administrada, el número de sesiones, así como los agentes quimioterapéuticos adyuvantes empleados en el tratamiento del cáncer, junto con factores de riesgo individuales del paciente, como los tradicionales factores de riesgo cardiovascular, edad y sexo, pueden aumentar la probabilidad de toxicidades cardíacas. El progreso en las técnicas de imagen cardiovascular y multimodal, junto con el desarrollo de biomarcadores, está contribuyendo a la evaluación y detección temprana de estas toxicidades en pacientes oncológicos. Sin embargo, a pesar de estos avances, se requiere una mayor comprensión, ya que las lagunas en la evidencia en poblaciones oncológicas plantean preguntas sobre el seguimiento de estos pacientes.

ARTÍCULO: QUANTITATIVE ASSESSMENT OF RADIOTHERAPY-INDUCED MYOCARDIAL DAMAGE USING MRI: A SYSTEMATIC REVIEW. CARDIOONCOLOGY ⁽¹⁶⁾

Objetivo: analizar el papel de las métricas derivadas de imágenes de resonancia magnética (RM) en la evaluación cuantitativa de la toxicidad miocárdica tras la aplicación de radioterapia (RT) en pacientes humanos, mediante una exhaustiva revisión de la literatura científica.

Material y métodos: fueron seleccionados veintinueve estudios de resonancia magnética, publicados entre 2011 y 2022. Los pacientes incluidos en estos estudios fueron sometidos a irradiación torácica, ya sea de forma independiente o en combinación con otros tratamientos, como parte de la terapia para diversas neoplasias malignas, que incluyen cáncer de mama,

pulmón, esófago, linfoma de Hodgkin y linfoma no Hodgkin. Entre los 11 estudios longitudinales, se observó una variabilidad en el tamaño de la muestra, la dosis media de radiación recibida por el corazón y los períodos de seguimiento, que oscilaron entre 10 y 81 pacientes, 2,0-13,9 Gy y 0 a 24 meses después de la radioterapia (además de una evaluación previa a esta), respectivamente.

En los 10 estudios transversales analizados, se encontraron diferencias en el tamaño de la muestra, la dosis media de radiación cardíaca administrada y los tiempos de seguimiento, que variaron entre 5 y 80 pacientes, 2,1 a 22,9 Gy y 2 a 24 años desde la finalización de la radioterapia. Durante estos estudios, se llevaron a cabo mediciones de métricas globales, como la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) y la masa/dimensiones de las cámaras cardíacas, además de mediciones de valores globales/regionales de la señal T1/T2, el volumen extracelular (VCE), el realce tardío de gadolinio (LGE) y la deformación circunferencial/ radial/ longitudinal del tejido cardíaca.

Resultados: la fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI) mostró una tendencia a decrecer en pacientes con seguimiento superior a los 20 años, así como en aquellos sometidos a técnicas de radioterapia (RT) de generaciones anteriores. Se evidenciaron cambios en la deformación global tras períodos de seguimiento más breves (13 ± 2 meses) luego de la administración de quimio y radioterapia concurrente. En pacientes sometidos a tratamientos concomitantes con seguimiento prolongado (8,3 años), se observaron incrementos en el índice de masa del ventrículo izquierdo (VI) correlacionados con la dosis media recibida por dicho ventrículo.

En pacientes pediátricos, se encontró correlación entre incrementos en el volumen diastólico del VI y la dosis de radiación recibida por el VI dos años después de la RT. Los cambios regionales se detectaron antes y después de la RT. Se reportaron respuestas dosis-dependientes para varios parámetros, incluyendo un aumento en la señal T1 en regiones con dosis altas, un incremento del 0,136% en el volumen extracelular (VCE) por Gray (Gy), un aumento gradual en el realce tardío de gadolinio (RTG) con el aumento de la dosis en regiones que recibieron más de 30 Gy, y una correlación entre el aumento en el volumen cicatricial del VI y la dosis media del VI o las dosis en los volúmenes que recibieron 10 y 25 Gy.

Conclusión: la revisión de la literatura revela que las métricas globales derivadas de la resonancia magnética (RM) pueden detectar la toxicidad miocárdica (TCM) inducida por radioterapia (RT) tras largos períodos de seguimiento, especialmente superiores a los 8 años, excepto los pacientes pediátricos, que pueden manifestar cambios relevantes en métricas en

períodos más cortos, aproximadamente de 1 a 2 años. Dada la naturaleza específica y heterogénea de la radiación administrada durante la RT, que varía según el paciente y la localización del tumor, la dosis a las estructuras cardíacas también exhibe heterogeneidad espacial. Por lo tanto, la evaluación precisa de posibles efectos de la TCM podría requerir la cuantificación regional tanto de la dosis como de las métricas relevantes obtenidas mediante RM. Conforme transcurre el tiempo desde la RT, la probabilidad de recuperación o mitigación de los efectos de la TCM disminuye, lo que subraya la importancia de las evaluaciones regionales de la estructura y función cardíacas para detectar cambios subclínicos tempranos. Entre los hallazgos miocárdicos regionales reportados en la literatura, se incluyen el aumento de la señal T1 en regiones altamente irradiadas, la disminución de la deformación regional con respuestas dependientes de la dosis en diferentes segmentos, la relación lineal entre el aumento segmentario del volumen extracelular (ECV) y la dosis media por segmento, la correlación entre la cicatrización del ventrículo izquierdo y la dosis recibida, y el aumento progresivo del realce tardío de gadolinio (LGE) en regiones con dosis superiores a 30 Gy. Es importante señalar que, entre todas las métricas de RM, la señal miocárdica T2 no mostró cambios ni dependencia de la dosis después de la RT.

Para detectar estos cambios regionales de manera óptima y cuantificar las posibles relaciones dosis-efecto, se requiere un registro preciso de imágenes entre la tomografía computarizada (TC) de planificación y varias secuencias de RM capaces de detectar anomalías subclínicas locales. En conclusión, el avance en las técnicas cuantitativas de RM cardiovascular y la capacidad de planificar y administrar la radioterapia de manera precisa ofrecen un potencial significativo para mejorar los resultados cardiovasculares de los pacientes tratados con RT, permitiendo un diagnóstico precoz de la toxicidad cardiovascular y la evaluación de nuevas intervenciones terapéuticas.

ARTÍCULO: ENFERMEDAD CARDÍACA INDUCIDA POR RADIACIÓN: IMPLICACIONES PRÁCTICAS EN SU PREVENCIÓN, DIAGNÓSTICO Y TRATAMIENTO ⁽¹⁷⁾

Objetivo: el estudio pretende evaluar el riesgo cardiovascular en pacientes sometidos a radioterapia, para identificar de forma precisa las terapias concomitantes con potencial cardio tóxico. Asimismo, se busca aplicar técnicas de radioterapia que tengan un efecto protector sobre el corazón. A través de esta evaluación integral, se pretende optimizar los desenlaces tanto oncológicos como cardiovasculares de los pacientes. Además, si surgen complicaciones cardíacas, se explorarán opciones terapéuticas, quirúrgicas y percutáneas, para abordarlas eficazmente.

Material y métodos: se llevó a cabo una exploración exhaustiva en la base de datos de Pubmed con el objetivo de identificar artículos pertinentes relacionados con el tema de la radioterapia y su impacto en el corazón, publicados en los últimos 5 años hasta agosto de 2020, escritos en inglés. Adicionalmente, se procedió a investigar referencias cruzadas para ampliar la recopilación de datos, y se incorporaron documentos de consenso emitidos por sociedades de cardiología internacionales.

Resultados: factores de riesgo de toxicidad cardíaca inducida por radioterapia ECIR (Enfermedad Cardiovascular Inducida por Radioterapia) deben ser identificados antes del inicio del tratamiento, considerando antecedentes médicos, características clínicas y esquema de tratamiento. Estos factores incluyen la edad del paciente (menor de 50 años o mayor de 60 años), presencia de riesgo cardiovascular, ausencia de blindaje en la radioterapia, altas dosis de radiación acumulada o por fracción, tumor cardíaco o adyacente, ubicación de la radiación y quimioterapia concomitante (ejemplo: antraciclinas). Los efectos adversos cardíacos pueden manifestarse en distintos plazos, desde días o semanas (como pericarditis) hasta años o décadas después (como enfermedad coronaria, pericarditis constrictiva, valvulopatías e insuficiencia cardíaca). Pacientes con cánceres de mejor pronóstico y aquellos más jóvenes al recibir radioterapia tienen mayor riesgo a largo plazo.

La frecuencia de estudios de seguimiento depende del objetivo terapéutico y esquema de tratamiento. A largo plazo, se sugiere evaluación clínica y examen físico anual, ecocardiograma cada 5 años en pacientes con factores de riesgo para ECIR, y en pacientes sin factores de riesgo, cada 5 años a partir de los 10 años. La enfermedad cardiovascular representa una preocupación a largo plazo en supervivientes de cáncer infantil, con un riesgo 7 veces mayor que la población general. Se recomienda una evaluación clínica anual, electrocardiograma y evaluación ecocardiográfica a los 2 años post-exposición, luego cada 5 años, o cada 2 años si la dosis de radiación superó los 35Gy o se recibieron antraciclinas. En casos de limitaciones técnicas de la ecocardiografía, se puede considerar el uso de una resonancia magnética.

Conclusión: la radioterapia se destaca como una herramienta terapéutica esencial en el abordaje de neoplasias. Aunque se han documentado diversos efectos adversos cardíacos, particularmente a medio y largo plazo según estudios anteriores, los avances tecnológicos en las técnicas de radioterapia proporcionan una mayor protección cardiovascular, anticipándose a una disminución de riesgos en el futuro. Es crucial realizar una evaluación inicial del paciente, que incluya la evaluación de su perfil de riesgo cardiovascular y la consideración de su estado oncológico, con el propósito de establecer estrategias de

prevención y seguimiento apropiadas. La eventualidad de intervenciones quirúrgicas o percutáneas requiere una consideración meticulosa de diversos aspectos técnicos para mejorar la eficacia terapéutica.

DISCUSIÓN

El análisis de la asociación entre la exposición a la radiación y el aumento de enfermedades cardiovasculares es de suma importancia dada la necesidad de comprender los potenciales efectos adversos de la radioterapia en el sistema cardiovascular. Diversos estudios han evidenciado una relación significativa entre la exposición a la radiación y un incremento en el riesgo relativo de enfermedades cardiovasculares, incluyendo cardiopatía isquémica, enfermedades cerebrovasculares y otras afecciones relacionadas. Tras la lectura científica de los cuatro artículos seleccionados, todos los estudios encuentran una asociación entre la exposición a la radiación y un mayor riesgo de enfermedades cardiovasculares. Esta asociación se observa para dosis altas y bajas de radiación, sugiriendo que los efectos negativos podrían haberse subestimado antes al ser dosis más bajas, acumulándose y manifestándose después a largo plazo.

Se examinó el papel de las mediciones obtenidas a través de imágenes de resonancia magnética en la evaluación cuantitativa de la toxicidad miocárdica tras la radioterapia. Los resultados indicaron que estas mediciones pueden identificar principalmente la toxicidad miocárdica después de períodos prolongados de seguimiento, y se subrayó la importancia de evaluar específicamente la estructura y función cardíacas para detectar cambios subclínicos tempranos. Siendo imprescindible la utilización de técnicas de imagen cardiovascular y la administración precisa de radioterapia para mejorar los resultados cardiovasculares en pacientes sometidos a este tratamiento. Estos estudios destacan la importancia de comprender los efectos cardiovasculares de la radioterapia, identificando factores de riesgo y desarrollando estrategias de prevención, diagnóstico y tratamiento adecuadas para mejorar los resultados tanto oncológicos como cardiovasculares de los pacientes tratados con radioterapia.

La metodología de este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, es posible que algunos estudios relevantes no hayan sido considerados en el análisis debido a su falta de publicación, su publicación en un idioma distinto al inglés o español, además de solo haber incluidos artículos gratuitos excluyendo a todo artículo no disponible de manera gratuita en las plataformas de búsqueda. En segundo lugar, la heterogeneidad de los estudios incluidos ha dificultado la interpretación de los riesgos asociados a la radiación, aunque las razones

detrás de esta heterogeneidad no están completamente claras, podrían estar relacionadas con la diversidad de factores médicos y de estilo de vida presentes en los estudios.

Además, podríamos considerar como limitación el uso de la resonancia magnética cardíaca como método central para la evaluación de métricas de cardiotoxicidad en los pacientes pertenecientes del tercer estudio. Esto excluye la evaluación de la cardiotoxicidad inducida por quimioterapia sin radioterapia, así como el análisis de métricas de cardiotoxicidad mediante otras modalidades de imagen o biomarcadores, lo que restringe la amplitud de la revisión.

CONCLUSIONES

Esta revisión sistemática concluye afirmando que, si existe una asociación entre exposición a radiación y riesgo de enfermedades cardiovasculares, indicando un aumento significativo en el riesgo relativo de enfermedades cardiovasculares, incluso a dosis relativamente bajas, menores de 0,5 Gy. Se identificaron múltiples factores que influyen el riesgo de toxicidad cardíaca relacionada con la radioterapia, como la dosis total de radiación recibida, el volumen del corazón expuesto, la edad del paciente, la ausencia de blindaje en la radioterapia, la ubicación del tumor, la dosis fraccionada y la presencia de otros agentes quimioterapéuticos. Estos factores, combinados con la acumulación de dosis y la cercanía al tejido cardíaco, contribuyen a la toxicidad cardíaca inducida por la radiación. Se analizan los distintos modelos de imagen para la evaluación de técnicas de imagen en la detección precoz de toxicidades cardíacas. Evidenciándose que la ecocardiografía y la resonancia magnética cardíaca son herramientas clave en la detección temprana de toxicidades cardiovasculares inducidas por la radioterapia. Estas técnicas permiten evaluar la función cardíaca y detectar posibles anomalías, complementando el diagnóstico y pronóstico de la enfermedad cardiovascular. Por ello, es crucial una evaluación inicial exhaustiva del paciente y estrategias de prevención personalizadas para mitigar los posibles efectos adversos cardiovasculares. Como propuestas de futuro creo que sería interesante investigar más sobre tecnologías avanzadas de radioterapia, como la radioterapia guiada por resonancia magnética y la terapia con protones (PBT), para comprender con mayor exactitud el impacto que produce la radioterapia en el sistema cardiovascular, ayudándonos a desarrollar estrategias para prevenir posibles efectos adversos en el corazón. Además, es importante investigar tratamientos que aceleren la recuperación del tejido cardíaco dañado en pacientes con una disfunción cardíaca significativa.

BIBLIOGRAFÍA

1. Taylor C, McGale P, Brønnum D, Correa C, Cutter D, Duane FK, Gigante B, Jensen MB, Lorenzen E, Rahimi K, Wang Z, Darby SC, Hall P, Ewertz M. Cardiac Structure Injury After Radiotherapy for Breast Cancer: Cross-Sectional Study with Individual Patient Data. *J Clin Oncol*. 2018;36(22):2288-2296. <https://doi.org/10.1200/jco.2017.77.6351>
2. Ellahham S, Khalouf A, Elkhazendar M, Dababo N, Manla Y. An overview of radiation-induced heart disease. *Radiat Oncol J*. 2022;40(2):89-102. <https://doi.org/10.3857/roj.2021.00766>
3. Lewis GD, Farach A. Cardiovascular Toxicities of Radiation Therapy. *Methodist Debakey Cardiovasc J*. 2019;15(4):274-281. <https://doi.org/10.14797/mdcj-15-4-274>
4. Hufnagle JJ, Andersen SN, Maani EV. Radiation-Induced Cardiac Toxicity. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2023 May 29 [citado el 13 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK554453/>
5. Wang H, Wei J, Zheng Q, Meng L, Xin Y, Yin X, Jiang X. Radiation-induced heart disease: a review of classification, mechanism and prevention. *Int J Biol Sci*. 2019;15(10):2128-2138. <https://doi.org/10.7150/ijbs.35460>
6. Nabialek-Trojanowska I, Lewicka E, Wrona A, Kaleta AM, Lewicka-Potocka Z, Raczak G, et al. Cardiovascular complications after radiotherapy. *Cardiol J*. 2020;27(6):836-847. <https://doi.org/10.5603/CJ.a2018.0120>
7. Díaz-Gavela AA, Figueiras-Graillet L, Luis ÁM, SalasSegura J, Ciérvide R, Del Cerro Peñalver E, et al. Breast Radiotherapy-Related Cardiotoxicity. When, How, why. Risk Prevention and Control Strategies. *Cancers*. 2021;13(7):1712. <https://doi.org/10.3390/cancers13071712>
8. Velásquez CA, González M, García-Orjuela MG, Jaramillo N. Enfermedad cardiaca inducida por radioterapia. *Rev Colomb Cardiol*. 2018;25(1):74-79. [Citado el 28 de febrero de 2025] Disponible en: https://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-56332018000100074
9. Desai MY, Windecker S, Lancellotti P, Bax JJ, Griffin BP, Cahlon O, Johnston DR. Prevention, Diagnosis, and Management of Radiation-Associated Cardiac Disease: JACC Scientific Expert Panel. *J Am Coll Cardiol*. 2019; 74 (7):905-927. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2019.07.006>
10. Izurieta MA, Sasovsky E, Farina JM, Iglesias RM. Cardiotoxicidad inducida por radioterapia. *Rev Costarric Cardiol*. 2018;20(2):48-53. [Citado el 28 de febrero de 2025] Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422018000400048.

11. Koutroumpakis E, Palaskas NL, Lin SH, Abe JI, Liao Z, Banchs J, et al. Modern Radiotherapy and Risk of Cardiotoxicity. *Chemotherapy*. 2020;65(3-4):65-76. <https://doi.org/10.1159/000510573>
12. Siaravas KC, Katsouras CS, Sioka C. Radiation Treatment Mechanisms of Cardiotoxicity: A Systematic Review. *Int J Mol Sci*. 2023; 24 (7):6272. <https://doi.org/10.3390/ijms24076272>
13. Banfill K, Giuliani M, Aznar M, Franks K, McWilliam A, Schmitt M, et al.; IASLC Advanced Radiation Technology committee. Cardiac Toxicity of Thoracic Radiotherapy: Existing Evidence and Future Directions. *J Thorac Oncol*. 2021;16(2):216-227. <https://doi.org/10.1016/j.jtho.2020.11.002>
14. Bergom C, Bradley JA, Ng AK, Samson P, Robinson C, Lopez-Mattei J, et al. Past, present, and future of radiation-induced cardiotoxicity: refinements in targeting, surveillance, and risk stratification. *JACC CardioOncol*. 2021;3(3):343-359. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2021.06.007>
15. Little MP, Azizova TV, Richardson DB, Tapio S, Bernier MO, Kreuzer M, et al. Ionising radiation and cardiovascular disease: systematic review and meta-analysis. *BMJ*. 2023;380:e072924. <https://doi.org/10.1136/bmj-2022-072924>
16. Omid A, Weiss E, Trankle CR, Rosu-Bubulac M, Wilson JS. Quantitative assessment of radiotherapy-induced myocardial damage using MRI: a systematic review. *Cardio oncology*. 2023 May18;9(1):24. <https://doi.org/10.1186/s40959-023-00175-0>
17. Ulate Retana A, Ibargüen Juste B. Enfermedad cardíaca inducida por radiación: implicaciones prácticas en su prevención, diagnóstico y tratamiento. *Rev Costarric Cardiol*. 2021;23(1):12-20. Disponible en: https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-41422021000100012

HALLAZGOS RADIOLÓGICOS Y DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL DE LA INSUFICIENCIA CARDÍACA, NEUMONÍAS ATÍPICAS Y SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO EN PACIENTES CON COMORBILIDADES CARDIORRESPIRATORIAS Y ONCOLÓGICAS: ANÁLISIS A PARTIR DE UN CASO CLÍNICO

Carlos López Vila^{1*}, Manuel García Cordeiro^{1*}, Nerea Sánchez Varela^{1,3}, Juan Antonio Suárez Quintanilla¹, Miguel Souto Bayarri^{1,2}

¹Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Compostela (USC), Santiago de Compostela, España;

²Departamento de Radiología, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela (CHUS), Santiago de Compostela, España; ³Área Sanitaria de Santiago-Barbanza, Servicio Gallego de Salud (Sergas), Santiago de Compostela, España

* Autores que han contribuido de igual manera a este trabajo.

carlos.lopez.vila@rai.usc.es; manuel.garcia.cordeiro@rai.usc.es; nerea.sanchez.varela@sergas.es;

juanantonisuarez.suarez@usc.es; miguel.souto@usc.es

RESUMEN

Muchos pacientes acuden al servicio de urgencias con signos y síntomas clínicos diversos que, en determinadas ocasiones, se superponen en entidades patológicas de distinta etiopatogenia. Esto es especialmente frecuente en los pacientes con comorbilidades cardiopulmonares u oncológicas. Por ello, para poder establecer de manera rápida, sencilla y costo-efectiva una aproximación diagnóstica, existen herramientas radiológicas de gran utilidad como pueden ser la radiografía de tórax o la ecografía. Asimismo, otras técnicas, como la TC, son de uso habitual y constituyen el 'gold standard' para el diagnóstico de muchas de estas patologías. Sin embargo, presentan un mayor coste y conllevan un mayor riesgo de exposición a la radiación. Siguiendo esta premisa, la presente revisión narrativa tiene como objetivo analizar y comparar los hallazgos radiológicos de la neumonía oportunista, del síndrome de distrés respiratorio agudo (SDRA) y de la insuficiencia cardíaca, destacando su utilidad en el diagnóstico diferencial.

INTRODUCCIÓN

Dado que los síntomas que presentan típicamente los pacientes con fallo cardíaco con edema de pulmón alveolar tienen similitudes con los patrones radiológicos o con los síntomas (especialmente la disnea, la tos o la intolerancia al ejercicio) de ciertas enfermedades pulmonares (como el SDRA o las neumonías atípicas), es muy importante saber establecer

un diagnóstico diferencial entre dichas patologías¹. Esto es crucial, entre otras cosas, dado que el tratamiento de la insuficiencia cardíaca aguda (ICA) o del edema agudo cardiogénico (uso de diuréticos de asa vía intravenosa, utilizados en más del 75% los pacientes con ICA⁷) es diferente al tratamiento del SDRA (ventilación mecánica con volúmenes corrientes bajos y presión inspiratoria limitada⁸) o de las neumonías atípicas (la terapia antimicrobiana correspondiente, dependiendo del patógeno causal). Además, la insuficiencia cardíaca, el SDRA y las neumonías atípicas son enfermedades que se encuentran con una notable frecuencia^{5,13}.

Hay que tener en cuenta que, en los pacientes con comorbilidades cardiorrespiratorias u oncológicas asociadas, estas entidades no sólo se pueden llegar a confundir, sino que se pueden llegar a superponer. Esto dificulta aún más el diagnóstico diferencial de la causa primaria o predominante. Por ejemplo, en el caso clínico que presentamos, el estado clínico de nuestra paciente se atribuyó inicialmente a una insuficiencia cardíaca descompensada (puesto que la enferma era cardiópata); sin embargo, ante la ausencia de mejoría tras el manejo convencional, se decidió reevaluar el diagnóstico. Finalmente, se identificó una neumonía oportunista por *Bordetella pertussis*, la cual exacerbó la insuficiencia cardíaca de la paciente y dio lugar al cuadro pulmonar.

Este tipo de casos nos evidencia que es importante reconocer las características clínicas y radiológicas propias y diferenciales de los padecimientos más altamente frecuentes en estos pacientes, es decir, en la insuficiencia cardíaca, el síndrome de distrés respiratorio agudo del adulto (SDRA) y en las neumonías atípicas. En este sentido, una revisión sistemática reciente¹² analiza la valía diagnóstica de los distintos métodos de imagen para el diagnóstico del edema agudo de pulmón. La radiografía de tórax es la herramienta inicial, pero presenta limitaciones en la diferenciación entre edema cardiogénico y no cardiogénico. La TC de alta resolución y la ecografía pulmonar han demostrado ser más precisas en la identificación de hallazgos característicos, como las líneas de Kerley y/o el derrame pleural en insuficiencia cardíaca, en contraste con el edema alveolar pulmonar bilateral¹⁴ del SDRA y de los patrones específicos (consolidaciones, patrón nodular, patrón en vidrio deslustrado...^{37,39,40}) de la neumonía atípica.

Por otro lado, en los pacientes oncológicos, nos encontramos con una doble problemática dado que son susceptibles a padecer neumonías oportunistas/atípicas al estar inmunodeprimidos y pueden llegar a desarrollar un SDRA causado por el tratamiento quimioterápico o radioterápico⁹.

La presente revisión centra sus objetivos en analizar y comparar los **hallazgos radiológicos característicos** de insuficiencia cardíaca, neumonías atípicas y el SDRA, destacando su utilidad en el **diagnóstico diferencial** y evaluando la **utilidad de cada técnica de imagen** en estos cuadros clínicos.

PRESENTACIÓN DEL CASO CLÍNICO

Una mujer de 90 años, con antecedentes de síndrome coronario agudo sin elevación del ST (tratada con revascularización y colocación de un stent en la coronaria descendente anterior media), cardiopatía hipertensiva y otras comorbilidades cardiovasculares, ingresó en la unidad coronarias por insuficiencia cardíaca descompensada con fracción de eyección ligeramente reducida, en el contexto de edema agudo de pulmón.

Inicialmente, el cuadro se manejó como una descompensación de insuficiencia cardíaca, pero la evolución clínica llevó a reconsiderar el diagnóstico.

EVALUACIÓN INICIAL

En la exploración física, la paciente presentó roncus y crepitantes bibasales marcados, pero sin signos claros de edema periférico. La gasometría arterial mostró hipercapnia leve con compensación metabólica ligera, lo que sugería una posible alteración en la ventilación alveolar.

Radiografía de tórax:

Como se observa en la Figura 1, la radiografía de la paciente mostró opacidades bilaterales, con una prominencia broncovascular evidente y sin cardiomegalia significativa, lo que generó dudas sobre si el cuadro se explicaba sólo por una insuficiencia cardíaca descompensada o si también subyacía una neumonía.

Ecografía cardíaca:

No evidenció signos de edema pulmonar cardiogénico. La ausencia de líneas B de Kerley y la ausencia de derrame pleural descartó un componente hemodinámico como causa primaria del cuadro respiratorio. Ante estos hallazgos y la aparición de fiebre y leucocitosis con reacción inflamatoria sistémica, se comenzó a sospechar una etiología infecciosa.

Tomografía computarizada (TC):

En una tomografía computarizada realizada mientras la paciente estaba ingresada (Figura 2), se identificaron consolidaciones con broncogramas, lo que generó dudas sobre un posible origen infeccioso del cuadro.

EVOLUCIÓN CLÍNICA Y ABORDAJE TERAPÉUTICO

La paciente recibió diuréticos (furosemida) IV, lo que supuso una reducción progresiva de la sobrecarga de volumen. Se estableció como diagnóstico de sospecha una infección respiratoria, iniciándose tratamiento empírico con ceftriaxona y azitromicina. Tras tres días sin mejoría significativa, y ante la posibilidad de un microorganismo atípico, se modificó el tratamiento a piperacilina-tazobactam. Para poder manejar correctamente a la paciente, se solicitó un estudio microbiológico más detallado. Finalmente, el microarray de virus respiratorios detectó la presencia de *Bordetella pertussis*, confirmando el diagnóstico de neumonía atípica oportunista. Tras este hallazgo, se decidió mantener la pauta antibiótica con piperacilina-tazobactam.

CARACTERÍSTICAS RADIOLÓGICAS Y DIFERENCIALES DE CADA ENTIDAD:

INSUFICIENCIA CARDÍACA:

El **edema pulmonar** es un signo característico en la insuficiencia cardíaca caracterizado por el “acúmulo de líquido en el espacio intersticial y/o alveolar debido a un aumento de la presión hidrostática pulmonar secundaria a un aumento de la presión de enclavamiento pulmonar”²². La insuficiencia cardíaca es una enfermedad frecuente (según el estudio PRICE 2004 -2005 la prevalencia en los pacientes españoles mayores de 45 años es del 6,8%⁵), lo que conlleva que el edema agudo de pulmón cardiogénico sea una **causa común de emergencia médica** que puede superar el millón de ingresos hospitalarios anuales en Estados Unidos²¹. Se asocia a un **10-20% de mortalidad**, especialmente cuando se presenta junto con infarto agudo de miocardio²¹.

La causa principal del edema de pulmón cardiogénico es la **disfunción del ventrículo izquierdo**, aunque existen otras causas como la hipertensión severa o la enfermedad renal²⁰. Es muy importante establecer un correcto diagnóstico diferencial con el **edema de pulmón no cardiogénico**, ya que, aunque ambos comparten signos y síntomas muy parecidos, su etiología se explica por mecanismos diferentes, llevando al diagnóstico inadecuado en muchas ocasiones²². Además, el **tratamiento** del edema agudo cardiogénico (uso de

diuréticos de asa vía intravenosa, utilizados en más del 75% los pacientes con ICA⁷) es diferente al tratamiento del SDRA (ventilación mecánica con volúmenes corrientes bajos y presión inspiratoria limitada⁸) o de las neumonías atípicas (la terapia antimicrobiana correspondiente, dependiendo del patógeno causal), lo que exige una diferenciación precisa en la práctica clínica.

Hallazgos radiológicos en cada fase:

La aparición del edema agudo pulmón cardiogénico se debe a un desequilibrio entre la presión oncótica que mantiene el líquido dentro del espacio intravascular y la presión hidrostática cuyo aumento lleva a la extravasación de líquido al espacio intersticial, contribuyendo a su acúmulo fuera de los vasos¹⁵.

El aumento de la presión capilar de enclavamiento pulmonar (lo abreviaremos con PCWP, haciendo referencia a la terminología anglosajona “Pulmonary Capillary Wedge Pressure”), que normalmente se encuentra entre los valores 6 y 13 mmHg, provoca un desequilibrio a favor de la extravasación de líquido provocando su acúmulo.¹⁵ Este acúmulo, se produce en varias fases progresivas a medida que va aumentando la PCWP:

Primera fase (fase compensada): un desequilibrio de presiones que resulta en el aumento de la PCWP por encima de 13 mmHg, lleva a un incremento en el acúmulo de líquido, que se mantiene compensado por el flujo linfático^{1,17}. Entre los hallazgos radiológicos más reseñables encontramos una cefalización de los vasos pulmonares (es decir, una redistribución del flujo hacia las partes superiores del pulmón) y un engrosamiento del pedículo vascular²⁰.

Segunda fase (edema intersticial pulmonar): el progresivo aumento de la PCWP por encima de 17 mmHg, lleva a que la compensación provocada por el flujo linfático se vea desbordada por el aumento de líquido y empiece a formarse un edema alrededor de los bronquiolos y la vasculatura pulmonar^{1,17,20}. Este edema va a provocar los siguientes hallazgos radiológicos¹⁸:

- **Líneas de Kerley:** el acúmulo de líquido (desencadenado por una PECP \geq 17mmHg) lleva al engrosamiento (de unos 1-2 cm de longitud y 1mm de ancho) de los tabiques interlobulillares²⁰ en los ángulos costofrénicos o en su proximidad. Su orientación es horizontal y es frecuente que contacten con la superficie pleural. Analizarlas en radiografía puede ser complicado, por ello se usa el TC (y, en ocasiones, la ecografía³), para distinguirlas de una manera óptima.

- Engrosamiento peribronquial: en la radiografía, este fenómeno se expresa mediante densidades pseudoanulares. Esto se debe a la presencia de líquido en las paredes bronquiales.
- Presencia de líquido en las cisuras: el acúmulo de líquido entre las capas de pleura hace visible un engrosamiento de las cisuras, lo que provoca un contorno irregular.

Tercera fase (edema alveolar): al aumentar la PCWP por encima de 25 mmHg, el progresivo aumento de líquido acumulado provoca que se concentre primero en la periferia de los alvéolos y que finalmente penetre en ellos a través de su pared produciendo una inundación alveolar. En esta fase se produce el edema alveolar, que dificulta el intercambio de aire y lleva a una imagen radiográfica característica. Esta consiste en la configuración en “alas de mariposa” o “alas de murciélago”, que se caracteriza por opacidades algodonosas, mal delimitadas que se ubican generalmente en posiciones centrales. Al contrario que la primera fase, esta suele afectar más a zonas pulmonares bajas^{16,17}.

Junto a estos patrones radiológicos suele aparecer:

- Derrame pleural: se denomina así a la acumulación de líquido superior a 2-5 ml en el espacio pleural debido al incremento de la PCWP. Suelen ser bilaterales y pueden respetar el seno costofrénico cuando el derrame es pequeño o moderado. Los unilaterales son infrecuentes, afectan más comúnmente al lado derecho (el derrame único en lado izquierdo sugiere otras causas como tumores, tuberculosis o trombos) y suelen ser provocados por regurgitación mitral^{17,20}.
- Cardiomegalia: es el incremento de la ratio cardiotorácica sobre el 50%. Es frecuente en los casos crónicos de insuficiencia cardíaca congestiva²⁰.

Muchas de estas características, son visibles en la **Fig. 3: Rx de tórax PA edema cardiogénico con líneas septales, derrame y cardiomegalia.**

Importancia de las técnicas de imagen:

Dicho esto, algo fundamental para hacer una aproximación diagnóstica en estos pacientes es la utilización de las pruebas de imagen sencillas como la radiografía de tórax, técnica muy utilizada en la valoración primaria de pacientes con sintomatología compatible con insuficiencia cardíaca⁶. Pese a las limitaciones que puede tener la radiografía simple, se considera que es una herramienta útil a nivel costo-efectividad en la evaluación del pronóstico clínico dado su bajo coste, baja radiación y su capacidad de detección de signos clínicos de gravedad como el edema de pulmón alveolar, que se ha asociado a una mayor

morbimortalidad. No obstante, aunque su capacidad diagnóstica para el fallo cardíaco es muy importante, presenta limitaciones. Por ello, para alcanzar un diagnóstico de certeza, especialmente en los casos de duda, que son el objeto de este trabajo (SDRA e infección oportunista), recurriremos a otro tipo de pruebas más específicas (como puede ser la TC).^{1,2}

A pesar de la carga ionizante para el paciente que tiene el uso de la TC, su rapidez y su capacidad de evaluación cuantitativa de las densidades pulmonares la convierte en una técnica muy interesante y útil. La TC también proporciona una valiosa información sobre otras patologías pulmonares que han de ser tenidas en cuenta para el diagnóstico diferencial de disnea de origen desconocido o para la cuantificación del agua pulmonar en los casos de ICC¹². Asimismo, en un estudio publicado por Barile et al, la TC cuantitativa (que permite medir la densidad pulmonar utilizando valores específicos en unidades Hounsfield) en el lóbulo superior izquierdo, demostró una sensibilidad del 100 % y una especificidad del 95%¹⁹. Si bien es cierto que esta capacidad diagnóstica cuando se emplea la TC cualitativa (visual), sigue siendo resultando valiosa, especialmente para valorar la extensión del edema y para distinguir el cardiogénico del no cardiogénico¹⁹.

Es importante tener cuidado sobre el momento cuando se hace la prueba, ya que las medidas de densidad pulmonar dependen de su volumen de aire, siendo diferente si se mide cuando el paciente está en inspiración máxima o en capacidad residual funcional. Esto último, junto a que las medidas de HU no son específicas para el agua, forman unas de sus principales limitaciones¹².

Otro método útil para evaluar la causa de un paciente con disnea es la ecografía. Nos ayuda a discriminar el origen cardiogénico o no cardiogénico de este síntoma³. De hecho, se piensa que, en algunos casos, podría ser mejor que la radiografía de tórax para la aproximación diagnóstica. En un estudio prospectivo de Martindale JL et al., 2013 (con 60 residentes de distintas especialidades) se observó que, en el diagnóstico del edema pulmonar, la ecografía pulmonar tuvo una precisión global del 74% ($kappa = 0.51$), mientras que la radiografía de tórax alcanzó solo un 58% ($kappa = 0.25$), diferencia que fue estadísticamente significativa ($P < 0.0001$). Se induce que esta diferencia se debe especialmente a la mejor visualización de las líneas B a través de ecografía³.

Pacientes con comorbilidades oncológicas:

Muchos pacientes con cáncer pueden presentar una disfunción cardíaca subclínica, es decir, aquella que no se traduce en una disminución de la fracción de eyección hasta que el daño es irreversible. Esto se debe, entre otras cosas, a la cardiotoxicidad de algunos fármacos

utilizados en la quimioterapia y a la inflamación sistémica del cáncer avanzado. Para la evaluación de estos pacientes, el strain longitudinal global (GLS) observado por ecocardiografía puede detectar alteraciones miocárdicas subclínicas en cáncer avanzado, permitiéndonos un margen de maniobra más prudente y pudiendo establecer un seguimiento monitorizado en pacientes con tratamientos cardiotóxicos⁹.

Además, aunque ha sido menos estudiada, la afectación del ventrículo derecho no es baladí en pacientes con cáncer. La quimioterapia sumada a la radioterapia puede inducir fibrosis y estrechamiento del miocardio de este ventrículo, afectando a su correcta función. Asimismo, hay otros mecanismos que pueden llevar a la disfunción del ventrículo derecho en los pacientes oncológicos^{10,11}. Además, al igual que ocurría con la valoración del ventrículo izquierdo, la deformación miocárdica (GLS) del ventrículo derecho se puede detectar precozmente con ecografía antes de que se traduzca en una insuficiencia cardíaca con fracción de eyección reducida¹¹.

SÍNDROME DE DISTRÉS RESPIRATORIO AGUDO (SDRA):

El SDRA es una forma de edema pulmonar no cardiogénico que se produce por un aumento de la permeabilidad capilar¹⁸. Según la Definición de Berlín²³, el SDRA se caracteriza por presentar opacidades bilaterales en imágenes radiológicas (radiografía o TC), sin evidencia de insuficiencia cardíaca o sobrecarga de líquidos. Este edema tiene es originado por insuficiencia respiratoria, y no se explica por una sobrecarga de líquidos ni por una insuficiencia cardíaca. Además, por definición, tiene que haber pasado una semana del evento clínico o del inicio o empeoramiento de los síntomas respiratorios. Se clasifica en leve ($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ entre 200-300 mmHg), moderado (100-200 mmHg) y grave (<100 mmHg), siempre con PEEP ≥ 5 cm H_2O .

Epidemiología:

LUNG SAFE es un estudio de 2016 que contó con la participación de 50 países distintos que reportaron 459 personas en UCI. Se observó que el 10% de los pacientes y el 23% de los ventilados mecánicamente cumplían los criterios de SDRA. La mortalidad hospitalaria global de SDRA reportada por este estudio observacional fue del 35-45%. Otros estudios observacionales han descrito resultados parecidos detectando una mortalidad superior al 30%¹³. La severidad fue clasificada en forma de leve en un 30% de los casos, moderada en un 46,6 % y severa en un 23,4 %¹⁴.

Aunque es difícil asociar correctamente si la causa de muerte se debía al propio síndrome o a los factores de riesgo y comorbilidades asociadas a cada uno de los pacientes, se asume que era más común la muerte por sepsis o fallo multiorgánico que la provocada por el propio fallo respiratorio. Asimismo, entre los supervivientes era frecuente la frecuencia de secuelas tras la recuperación, destacando el deterioro cognitivo que afectaba a la mitad de los supervivientes a 2 años¹⁵.

Causas y factores de riesgo:

Las **causas y factores de riesgo** que pueden llevar a un SDRA pueden ser tanto de origen pulmonar (como la neumonía, que es la causa más frecuente, o la broncoaspiración) como extrapulmonar (como la sepsis, la uremia, el CID, la pancreatitis, el shock hemorrágico, la sobredosis o las transfusiones de sangre). Para clarificar la causa, son necesarias analíticas, y otras pruebas como broncoscopia, lavado broncoalveolar (especialmente útil en neumonías de causa desconocida, atípicas u oportunistas) e incluso en algunos casos biopsia transbronquial (cada vez más en desuso por sus riesgos de sangrado y de pneumotórax)^{13,16}. Otros factores menos frecuentes, pero también incluidos en la literatura son la inhalación de humo y el vaper²⁰.

Fases del SDRA:

Las fases clínicas del SDRA, tal y como aparecen reflejadas según asados en Badia Jobal et al.⁴⁴, se pueden clasificar en inicial, latente, insuficiencia respiratoria y consolidada. No obstante, la clasificación clásica divide al proceso del SDRA en 3 fases⁴⁵:

- **La fase exudativa (7-10 días):** Se produce el acúmulo de células inflamatorias en el pulmón, llevando al daño tisular y a un aumento de la permeabilidad capilar, con la consiguiente pérdida de surfactante. Esto dificulta el intercambio de gases. En radiografía puede haber opacidades bilaterales difusas en vidrio deslustrado o edema no cardiogénico, lo que dificulta el diagnóstico diferencial con la insuficiencia cardíaca (por el edema) y de las neumonías atípicas (por las opacidades en vidrio deslustrado).
- **Fase proliferativa (2-3 semanas siguientes):** Se intenta reestablecer la integridad tras el daño, persiguiendo la recuperación de la función pulmonar. Opacidades bilaterales progresivas.
- **Fase fibrótica (si sigue más de 3 semanas):** en algunos pacientes, por una inflamación continuada, persiste el edema, se produce daño de la membrana basal,

fibrosis intersticial y daño microvascular. Con técnicas de imagen se ven las bronquiectasias por tracción (imagen en panal de abejas)

Un aspecto importante, es que en el SDRA el líquido del edema pulmonar es rico en proteínas que alteran la función del surfactante y provocan atelectasia, disminución de la distensibilidad pulmonar y aumento del cortocircuito pulmonar y del espacio muerto fisiológico, lo que resulta en una insuficiencia respiratoria hipoxémica severa. Esto se diferencia del edema cardiogénico (cuyo líquido es pobre en proteínas, pues se debe a fuerzas hidrostáticas)²⁴. No obstante, en la radiografía lo que vamos a ver son consolidaciones pulmonares, causándonos confusión con un edema cardiogénico o una neumonía oportunista, especialmente en pacientes con comorbilidades cardiopulmonares u oncológicas.

Importancia de la radiología en el SDRA

Aunque la ratio de oxigenación de los pacientes es un dato importante, para determinar la severidad del cuadro debemos medir el grado y la extensión de la consolidación en técnicas de imagen.¹⁴ El SDRA se caracteriza por presentar radiológicamente opacidades bilaterales difusas en forma de **edema intersticial** o un patrón de **edema alveolar** (como podemos observar en la **Fig. 4**), aunque en una fase avanzada puede desarrollarse un patrón intersticial reticular. Los hallazgos en imagen se suelen estabilizar al cabo de 5-7 días y comienzan a eliminarse después de 2 semanas, pudiendo tardar la resolución completa varios meses^{13,14,18}. El SDRA es un cuadro clínicamente heterogéneo que radiológicamente se puede clasificar en dos subgrupos:¹⁵

1. **Subfenotipo no focal:** Consolidaciones en forma de patrón difuso y parcheado. Responden bien a estrategias de reclutamiento alveolar usando técnicas mecánicas y de intercambio de aire.
2. **Subfenotipo focal:** Consolidaciones predominantemente basales en la región dorsal-inferior, y que responden bien a técnicas de posicionamiento.

El mayor beneficio de su categorizar a los pacientes en grupos más homogéneos, es la realización de una intervención más precisa, no obstante, la mayor ventaja de no hacerlo y usar una definición heterogénea es que permite un mayor reconocimiento clínico.

Como observaciones importantes, el diagnóstico de SDRA no se confirma ni se descarta con una única prueba, y aunque es de instauración rápida, las imágenes radiográficas son normales durante 24-36 horas tras la causa de inicio^{13,18}.

Uno de los parámetros que resulta interesante medir es la cantidad y el tipo de edema. En esta línea, el score RALE (Radiographic Assessment of Lung Edema) nos permite evaluar el edema pulmonar a través de una radiografía de tórax en función de la extensión de la

consolidación y de su densidad radiológica. Esto nos permite valorar la severidad del SDRA y orientar nuestro diagnóstico. De hecho, es un buen predictor de la necesidad de ventilación mecánica prolongada, mostrando en un estudio prospectivo con 128 pacientes con SDRA y 21 controles (con edema de pulmón cardiogénico) un fuerte acuerdo inter-observador $p < 0.0001$ ²⁵.

Por otro lado, la **TC** también resulta de utilidad en el seguimiento de los pacientes con SDRA. En este aspecto, un artículo reciente publicado por Nishikimi et al.²⁶ en 2023, demuestra que la evidencia en Tc de un patrón mixto de las consolidaciones pulmonares y signos de bronquiectasias por tracción están relacionados con una mayor dificultad para la liberación temprana de ECMO en pacientes con SDRA.

Otra de las utilidades que nos proporciona la radiología en la evaluación de pacientes con SDRA es en el tratamiento y en la valoración del pronóstico. En este sentido, Simon et al.²⁷ mostraron en un estudio que analiza a 204 pacientes con diagnóstico confirmado de SDRA el estudio a través de TC condujo al cambio de la medicación (mayoritariamente referido a la pauta antibiótica) en el 26,5% de los pacientes. Asimismo, se vio que era un buen predictor del pronóstico, dado que en aquellos sujetos que tenían una afectación de más del 80% del parénquima pulmonar, la mortalidad aumentó significativamente. Por otro lado, a través de análisis de Tc se puede predecir la mayor o menor respuesta a la posición prono en oxigenoterapia. Chen et al.²⁸ Llegaron a la conclusión de que altos puntajes de GGO (opacidad en vidrio deslustrado) se asocian con mayor mortalidad a 60 días (de hecho, con una puntuación ≥ 15 la probabilidad de mortalidad en 60 días se multiplicó 4,07 veces).

Finalmente, cabe destacar el potencial uso de la ecografía en el campo de la evaluación del SDRA. En un estudio²⁹ que compara la capacidad diagnóstica de SDRA a través de ecografía, comparándolo con el diagnóstico confirmado por TC (gold standard radiológico), se muestra la utilidad de la ecografía en los pacientes con SDRA. El estudio (que evaluó a 51 pacientes entre 73 y 97 años) sostiene que la ecografía cardiopulmonar (CPU) es una herramienta diagnóstica más potente que la ecografía pulmonar (LUS) aislada para detectar SDRA en pacientes ancianos. Además, la combinación de CPU, con medición de proBNP y $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ mejora la especificidad del diagnóstico.

NEUMONÍAS ATÍPICAS Y OPORTUNISTAS:

El término **neumonía atípica** ha variado con el paso de los años. Históricamente, se había formulado para describir cuadros de neumonía con manifestaciones inusuales (tanto en presentación clínica como en epidemiología). Sin embargo, se ha adaptado a los tiempos

actuales, ampliando su uso a un grupo diverso de patógenos y cuadros clínicos que pueden diferir de la neumonía bacteriana típica. Dada la heterogeneidad del término, algunos autores sugieren que su empleo debería reservarse únicamente para aquellos casos que realmente presenten características inusuales en su evolución y manifestación clínica⁴¹. En esta revisión queremos destacar esta puntualización. Hablaremos de microorganismos potencialmente causantes de neumonías atípicas, si bien somos conscientes de que no siempre han de ser consideradas así, sino que dependerán del paciente y del contexto.

Por otro lado, el término **neumonía oportunista** también está pobremente definido. Se conoce que las infecciones por oportunistas son aquellas causadas por microorganismos de baja virulencia que originan una enfermedad grave en individuos con inmunidad deprimida⁴². Otros libros se refieren con infecciones oportunistas principalmente a las infecciones “raras” que padecen los pacientes infectados por VIH⁴³. Nosotros, nos referiremos con neumonía oportunista a la infección aguda del parénquima pulmonar causada por microorganismos en pacientes con inmunosupresión primaria o secundaria (como los oncológicos).

IMPLICACIONES EN LA CLÍNICA.

Una anamnesis exhaustiva es crucial para el diagnóstico de las infecciones respiratorias. Los síntomas más prevalentes en las infecciones respiratorias bajas incluyen fiebre, tos, disnea y dolor torácico. Además, es indispensable realizar una exploración física minuciosa, con especial énfasis en la identificación de los signos detallados en la **Tabla I: Principales signos asociados a las infecciones respiratorias bajas**³⁰.

Numerosos síntomas y signos característicos de las infecciones respiratorias bajas se superponen con aquellos observados en otras patologías comunes en la práctica clínica diaria. Los pacientes de edad avanzada o aquellos con comorbilidades presentan un riesgo incrementado de desarrollar complicaciones³¹. Por ello, la realización de un diagnóstico diferencial preciso es esencial para una adecuada orientación clínica, lo que facilita la instauración temprana del tratamiento adecuado.

Entre los principales diagnósticos diferenciales de la neumonía, se incluyen:

- **Exacerbación asmática:** Episodio agudo o subagudo caracterizado por el empeoramiento de los síntomas típicos del asma, como disnea, sibilancias, tos y opresión torácica³².

- **Exacerbación de la Enfermedad Pulmonar Obstructiva Crónica (EPOC):** Empeoramiento agudo de los síntomas típicos de la EPOC, tales como tos, cambios en la purulencia o volumen del esputo, sibilancias y disnea³³.
- **Insuficiencia cardíaca descompensada:** Síndrome clínico caracterizado por la aparición de síntomas como disnea, edema de miembros inferiores y fatiga, que pueden ir acompañados de signos como ingurgitación yugular, estertores pulmonares y edema periférico. Esta condición es resultado de una anomalía cardíaca estructural o funcional que provoca un aumento de las presiones intracardíacas o un gasto cardíaco inadecuado, tanto en reposo como durante el ejercicio³⁴.
- **Síndrome de Distrés Respiratorio Agudo (SDRA):** Se define como una insuficiencia respiratoria aguda secundaria a edema pulmonar inflamatorio, con aumento de la permeabilidad capilar, inundación alveolar e hipoxemia profunda subsiguiente. Este síndrome se caracteriza por su refractariedad a altas concentraciones de FiO₂ (fracción inspirada de oxígeno). Los factores de riesgo más frecuentes incluyen la neumonía y el shock³⁵.
- **Neumonías atípicas:** Involucran patógenos como *Bordetella pertussis* (protagonista del presente caso), *Chlamydia pneumoniae*, *Mycoplasma pneumoniae* y especies de *Legionella*, los cuales se diferencian de la neumonía bacteriana típica por sus manifestaciones extrapulmonares. La diferenciación clínica se basa en el compromiso sistémico en lugar de en síntomas aislados, a diferencia de las neumonías causadas por bacterias típicas³⁶. Se debe sospechar la presencia de patógenos atípicos en casos con presentación clínica inusual o en pacientes que no responden a tratamiento antibiótico empírico.

Este enfoque diagnóstico es fundamental para orientar adecuadamente el tratamiento y mejorar los resultados clínicos, permitiendo la identificación temprana de las diferentes etiologías de las infecciones respiratorias.

Papel de la radiología:

- Radiografía:

Aunque la radiografía de tórax no permite identificar el agente causal, sí es una herramienta útil en el diagnóstico diferencial. Un aspecto clave a evaluar es la aparición de anomalías radiológicas y su ritmo de progresión, ya que esto puede orientar hacia ciertos microorganismos sobre otros. Como se describe en la **Tabla 2: Evolución temporal y hallazgos radiológicos en neumonías oportunistas y atípicas** el patrón evolutivo de las imágenes puede proporcionar pistas sobre la etiología subyacente³⁷.

En radiografía, estas entidades pueden manifestarse como consolidaciones del espacio aéreo con broncogramas (C), opacidades difusas o focos consolidativos (O), y nódulos acinares u opacidades nodulares (N)³⁷. En la tabla, estos hallazgos se representan de manera abreviada como C, O y N, respectivamente

- Tomografía computarizada

Por otro lado, la **TC** es una herramienta muy útil para orientarnos en el diagnóstico diferencial de las neumonías oportunistas. En muchas de estas neumonías es frecuente encontrar patrones de vidrio deslustrado (como se puede observar en la **Fig. 5**). No obstante, hay ciertos hallazgos característicos de cada patología, que se resumen a continuación^{37,39,40}:

- **Pneumocystis jirovecii**: Opacidades en vidrio deslustrado/esmerilado bilateral y perihiliar, con tendencia a la preservación subpleural. El patrón de atenuación en mosaico (densidad heterogénea y parcheada) y los cambios quísticos también son bastante frecuentes.
- **Citomegalovirus**: Alta frecuencia (algunos estudios indican un 100%) de patrón en vidrio deslustrado y bastante frecuencia de patrón de empedrado o ‘crazy paving’. Los nódulos centrolobulillares y los nódulos pulmonares también son frecuentes en esta entidad.
- **Pseudomonas Aeruginosa**: Alta frecuencia de patrón en vidrio deslustrado, consolidaciones y engrosamiento bronquial. Los derrames pleurales también son bastante frecuentes
- **Aspergillus invasivo**: Nódulos únicos o múltiples focalizados con una expresión del **signo del halo** (área de atenuación alrededor del nódulo) de discutida frecuencia, pero de aparición muy característica y sugestiva de infección fúngica o émbolos sépticos.
- **Tuberculosis**: Consolidaciones en lóbulos superiores con/sin cavitaciones. Patrón nodular “broncogénico” y/o miliar nodular (nódulos de 1 a 2 mm) en casos diseminados.

En esta línea, un estudio con 57 pacientes inmunocomprometidos con infecciones pulmonares (19 con infecciones bacterianas, 20 con infecciones fúngicas, 8 con infección por CMV –citomegalovirus-, 8 con infección por PCP -Pneumocystis jirovecii- y 2 con tuberculosis) se vio lo siguiente³⁸:

- Las infecciones fúngicas presentan nódulos pulmonares (90%) y cavitaciones (40%).
- PCP se caracteriza por vidrio deslustrado bilateral difuso (100%).

- CMV se asocia con nódulos centrolobulillares (75%) y engrosamiento bronquial (62.5%).
- La neumonía bacteriana (probablemente oportunista) muestra consolidaciones lobares (68.4%) con broncograma aéreo.

Finalmente, en la **Tabla 3:** *características de hallazgos radiológicos en neumonías oportunistas y/o atípicas y su diagnóstico diferencial*, se recogen las principales características radiológicas acompañadas con las enfermedades asociadas correspondientes y los diagnósticos diferenciales a tener más en cuenta¹, según lo expuesto en apartados previos.

DISCUSIÓN

Establecer un correcto diagnóstico diferencial entre diversas patologías es uno de los apartados más importantes de la medicina, sin embargo, este puede llegar a ser uno de los puntos más difíciles de la clínica. Esto es debido a que muchas veces los signos y síntomas de diversas entidades se solapan, haciendo difícil la diferenciación entre patologías, lo que puede llevar a un diagnóstico y, por consecuencia, a un tratamiento inadecuado. Como vimos anteriormente, en el edema agudo de pulmón aparecen diversas causas para explicar su origen, provocando que muchas veces en la imagen radiológica sea difícil distinguirlas. Lo mismo puede llegar a ocurrir en contextos infecciosos, en los que diferenciar un SDRA de una neumonía atípica u oportunista puede llegar a ser complicado. Por ejemplo, en los pacientes inmunodeprimidos (como los oncológicos o los infectados por VIH) o que, por otras razones, no exhiben los signos clásicos de infección (especialmente la fiebre) puede llegar a ser mucho más complicado hallar la etiología primigenia o dominante.

Estas dificultades acaecieron en el caso introducido en esta revisión, que presenta a una paciente anciana que padecía de una insuficiencia cardíaca de base que coexistió con una infección atípica. Lo mismo sucede con otros pacientes que muchas veces llegan con comorbilidades de distinta índole. Éstas, exacerbando sus patologías de base y pueden confundir la clínica e incluso la imagen radiológica, llegando a camuflar distintas afecciones que pueden subyacer en el diagnóstico del paciente.

En este punto es importante la actitud crítica del médico, quien debe usar de una manera complementaria la clínica y la imagen radiológica además de apoyarse en otras pruebas como la broncoscopia para realizar un diagnóstico de certeza. Por estas razones, cuando llega un paciente, lo primero de todo, es hacer una buena anamnesis y explorar su clínica. En el caso actualmente presentado, la paciente era una persona cardiópata con edema agudo de pulmón,

disnea y una descompensación de su insuficiencia, que con razón lleva a pensar en un posible fallo cardíaco congestivo.

La clínica es, por ello, la guía más fidedigna para el diagnóstico diferencial y la que va a modular nuestro comportamiento hacia la patología del paciente. Los síntomas y signos son los que orientan la realización de pruebas de imagen complementarias, ya que es importante siempre descartar otras causas y no quedarse únicamente en lo que parece ser a priori. No obstante, no por ello vamos a despreciar la valía de las técnicas de imagen. Estas, van a acompañar en todo momento al juicio diagnóstico y es crucial tenerlas en cuenta. En esta paciente, la radiografía, resultó un tanto confusa por sus similitudes entre un cuadro inflamatorio y un edema cardiogénico. Por lo tanto, se necesitó el empleo de otras técnicas más precisas para llegar al diagnóstico diferencial. Pero, si no fuera por las dudas que generaron las técnicas de imagen, probablemente no se habría llegado tan rápido al diagnóstico.

Además, en radiodiagnóstico, todo lo anterior hay que verlo en el contexto de inflamación pulmonar, sea en el contexto infeccioso, tóxico, farmacológico o ambiental, que produce un aumento de la permeabilidad capilar, tal y como se indica en el esquema de la **Fig. 6**. La consecuencia final es una extravasación de líquido, fenómeno que también ocurre en el edema agudo de pulmón cardiogénico, aunque no se debe estrictamente por una inflamación sino por diferencias en la presión hidrostática. Lo más frecuente y, por tanto, lo primero en lo que tenemos que pensar cuando nos encontramos con este hallazgo radiológico, es el fallo cardíaco. No obstante, cuando la causa no está clara, hay que descartar causas inflamatorias como un SDRA o una neumonía oportunista, puesto que conllevan un manejo absolutamente diferente.

Por último, en esta revisión, también observamos la utilidad de las diferentes técnicas de imagen para el diagnóstico, donde se junta la eficacia, la rapidez, el coste y los riesgos de cada técnica. Cada prueba tiene sus beneficios y sus limitaciones, por eso creemos que se debería seguir un orden en las pruebas de imagen de forma complementaria a la clínica para hacer el diagnóstico diferencial. Generalmente, cuando alguien viene al hospital con un problema respiratorio se suele empezar con una radiografía de tórax, que es una prueba no invasiva, muy rápida y que aporta mucha información acerca de la posible causa de los síntomas. Posteriormente en caso de dudas, las siguientes pruebas radiológicas utilizadas son la ecografía, la resonancia y la TC, las tres con una precisión mayor a la radiografía. Los estudios cada vez van definiendo mejor cual es la mejor estrategia diagnóstica después de la radiografía de tórax, siendo muy útil, por ejemplo, la ecografía cuando son causas

cardiogénicas y la TC cuando la patología es debida a aun SDRA. Por eso, es muy importante fijarse en la clínica, para orientarse hacia que prueba es la mejor para llegar al diagnóstico adecuado lo más pronto posible.

CONCLUSIONES

- La expresión radiológica de la insuficiencia cardíaca, el SDRA y las neumonías atípicas pueden llegar a ser muy parecidas, por lo que tendremos que guiarnos principalmente por la clínica en aquellos casos en los que no aparezcan los signos radiológicos clásicos.
- La radiografía nos va a guiar especialmente en el pronóstico, mientras que para el diagnóstico nos ayudarán mucho la TC y, en ocasiones, la ecografía.
- En la mayoría de las ocasiones, el edema de pulmón se deberá a una insuficiencia cardíaca. No obstante, debemos prestar atención, pues puede esconder un SDRA o una neumonía atípica.

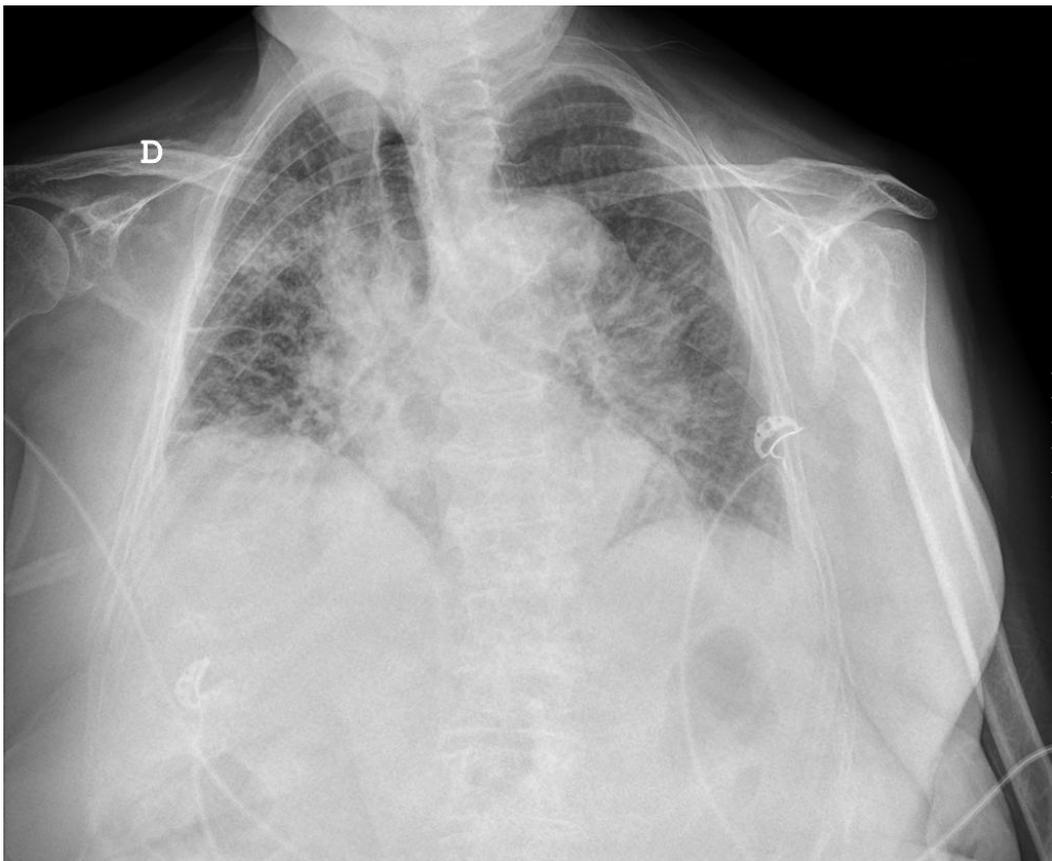


Figura 1. Radiografía de tórax AP de la paciente del caso clínico presentado.

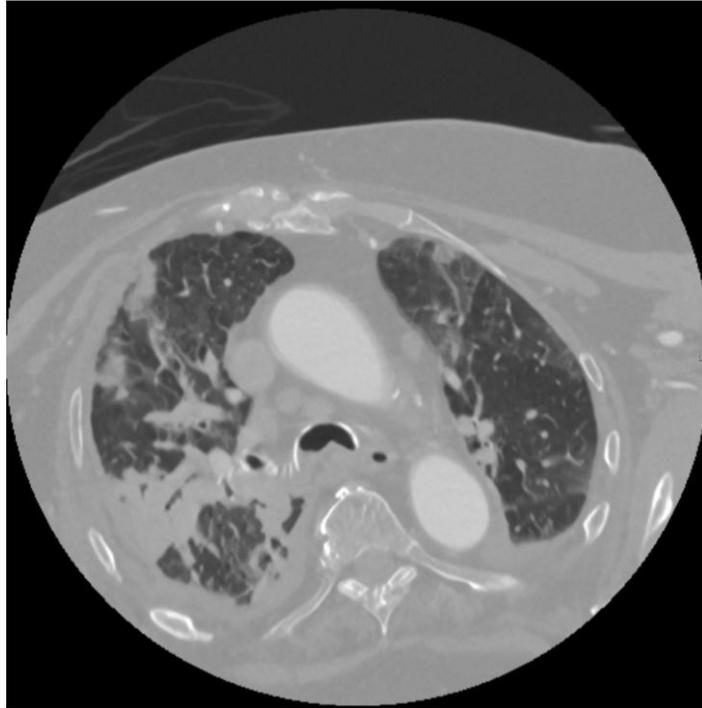


Figura 2. TC de la paciente del caso clínico presentado.



Figura 3. Rx de tórax PA edema cardiogénico con líneas septales, derrame y cardiomegalia

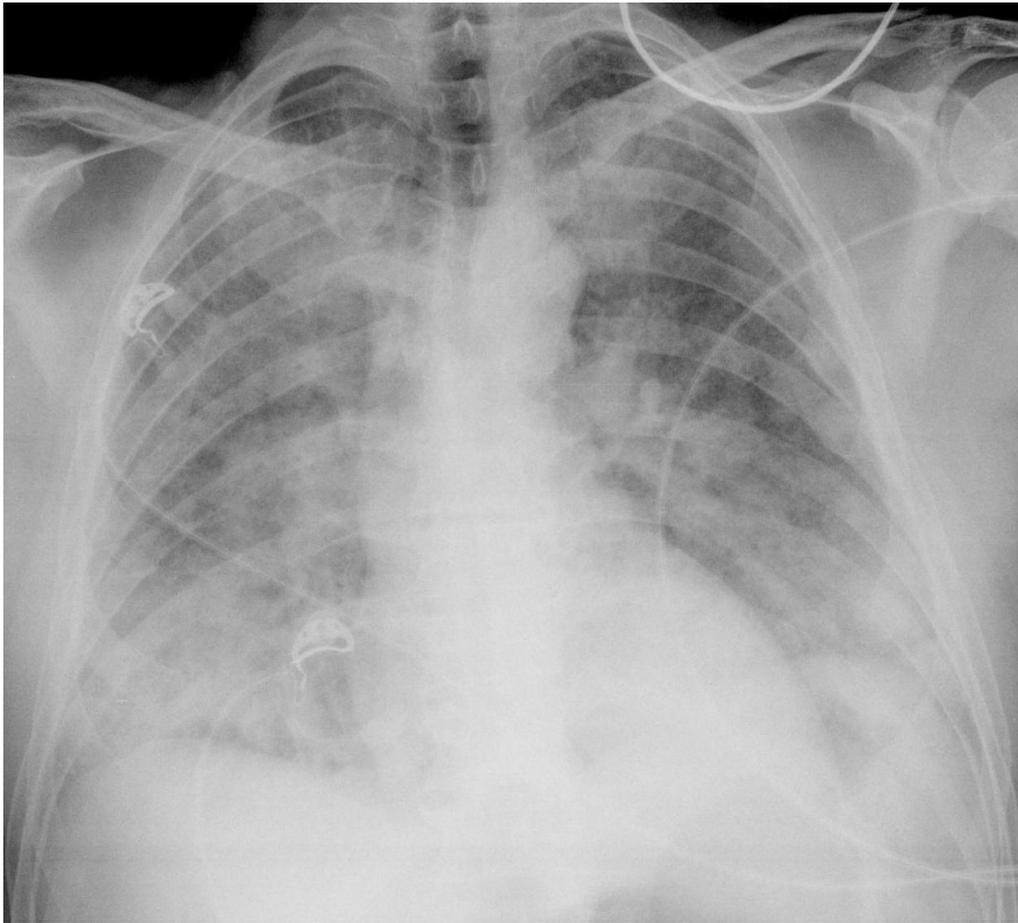


Figura 4. Radiografía de tórax PA de paciente con SDRA

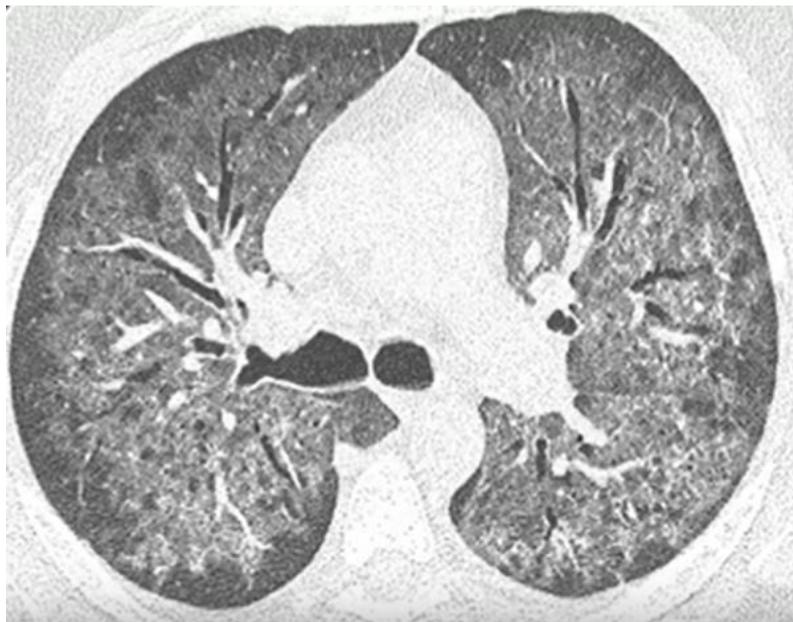


Figura 5. TC de paciente con neumonía oportunista

Inflamación pulmonar

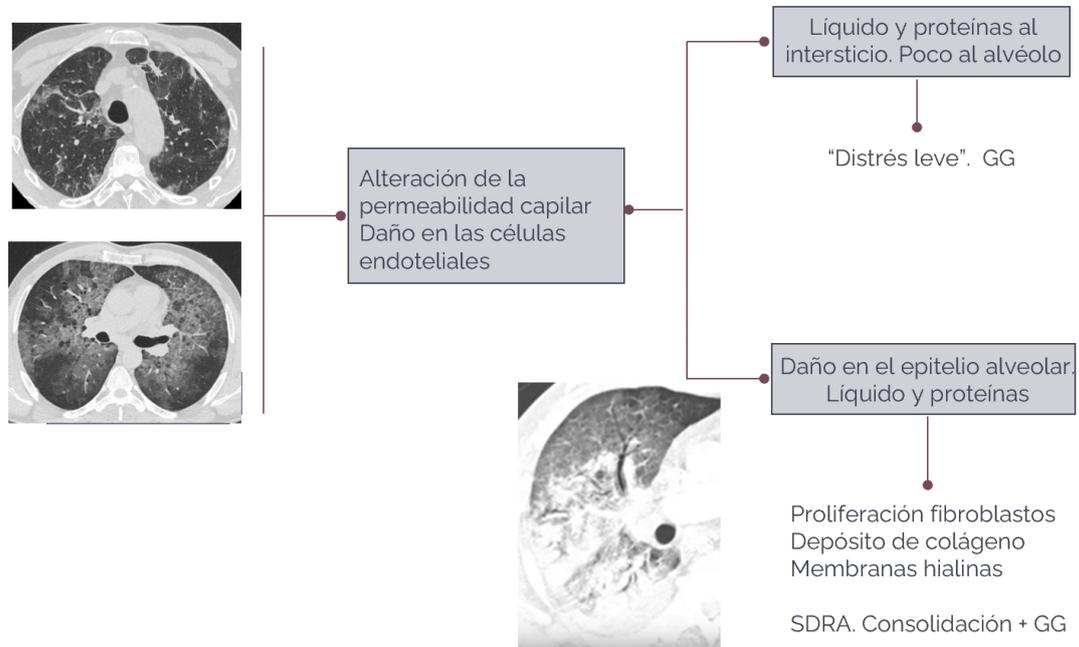


Figura 6. Esquema de inflamación pulmonar

TABLA I. PRINCIPALES SIGNOS ASOCIADOS A LAS INFECCIONES RESPIRATORIAS BAJAS

Signos relevantes en infecciones respiratorias bajas

- Fiebre o hipotermia.
- Taquipnea.
- Taquicardia o bradicardia.
- Cianosis.
- Disminución de la expansión del tórax en el lado afecto.
- Desviación traqueal (casos graves).
- Matidez a la percusión.
- Frémito táctil.
- Aumento de ruidos respiratorios en la zona de consolidación pulmonar (crepitantes, estertores...).
- Aumento de la resonancia vocal sobre el sitio de consolidación lobar.
- Roce pleural.
- Egofonía.
- Disminución de la saturación de oxígeno en pulsioximetría.

Nota: Adaptado de Sattar, S. B. A., Nguyen, A. D., & Sharma, S. (2025). Bacterial pneumonia. Disponible en: StatPearls Publishing (30).

TABLA II. EVOLUCIÓN NATURAL Y HALLAZGOS RADIOLÓGICOS EN NEUMONÍAS OPORTUNISTAS Y/O ATÍPICAS

Tiempo de progresión	Etiologías comunes
Rápida (<24 h)	<i>Neumococo (C)</i> , <i>S. aureus (C)</i> , <i>Gram negativos (C)</i> , <i>Legionella (C/N)</i>
Subaguda (días-semanas)	<i>Aspergillus (C/N)</i> , <i>Tuberculosis (C/D)</i> , <i>Pneumocystis (D)</i> , <i>Nocardia (C/N)</i> , <i>Legionella (C/N)</i> , <i>Criptococo (C/N)</i>
Crónica (> semanas)	<i>Tuberculosis (C/D)</i>

Nota: Tabla basada en datos de Conces DJ Jr. (1993)³⁷, con modificaciones y análisis propio.

TABLA III. CARACTERÍSTICAS DE HALLAZGOS RADIOLÓGICOS EN NEUMONÍAS OPORTUNISTAS Y/O ATÍPICAS Y SU DIAGNÓSTICO DIFERENCIAL

Hallazgo en Imagen	Enfermedades Frecuentes	Distribución Preferencial	Diagnóstico Diferencial
Atenuación en vidrio deslustrado	<i>Pneumocystis jirovecii</i> , infección por CMV, distrés respiratorio agudo	Bilateral, difuso	Diferenciar de SDRA por clínica y perfil inmunológico
Cavitaciones pulmonares	<i>Tuberculosis pulmonar</i> , <i>nocardiosis</i> , <i>aspergilosis invasiva</i>	Lóbulos superiores	Buscar signos de infección crónica o inmunosupresión
Opacidades nodulares múltiples	<i>Aspergilosis</i> , <i>tuberculosis miliar</i>	Patrón miliar o en "halo"	Distinguir de metástasis pulmonares con TC de alta resolución

Nota: Tabla basada en datos de Conces DJ Jr. (1993)³⁷, con modificaciones y análisis propio.

TABLA IV. FASES CLÍNICAS DEL SDRA

Fase	Clínica	Radiografía
Fase inicial	Taquicardia, taquipnea, alcalosis respiratoria	Normal
Fase latente	Hiperventilación e hipocapnia	Alguna alteración (mínimos cambios intersticiales)
Fase de insuficiencia respiratoria	Taquipnea y disnea	Infiltrados radiológicos difusos (patrón alveolar)
Fase consolidada	Hipoxemia, acidosis	Opacidades bilaterales, vidrio deslustrado y consolidaciones

Nota: Tabla basada en datos de Badia Jobal et al.⁴⁴, con modificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- Siwik D, Apanasiewicz W, Żukowska M, Jaczewski G, Dąbrowska M. Diagnosing lung abnormalities related to heart failure in chest radiogram, lung ultrasound and thoracic computed tomography. *Adv Respir Med.* 2023;91(2):103-122. <https://doi.org/10.3390/arm91020010>
- Llorens P, Javaloyes P, Masip J, Gil V, Herrero-Puente P, Martín-Sánchez FJ, et al. Prognostic value of chest radiographs in patients with acute heart failure: The Radiology in Acute Heart Failure (RAD-ICA) study. *Emergencias.* 2019;31(4):318-326.

[Citado el 28 de febrero de 2025] Disponible en: https://revistaemergencias.org/wp-content/uploads/2023/08/Emergencias-2019_31_5_318-326-326.pdf

20. Martindale JL, Noble VE, Liteplo A. Diagnosing pulmonary edema: lung ultrasound versus chest radiography. *Eur J Emerg Med.* 2013;20(5):356-360. <https://doi.org/10.1097/MEJ.0b013e32835c2b88>
21. Komiya K, Ishii H, Murakami J, Yamamoto H, Okada F, Satoh K, et al. Comparison of chest computed tomography features in the acute phase of cardiogenic pulmonary edema and acute respiratory distress syndrome on arrival at the emergency department. *J Thorac Imaging.* 2013;28(5):322-328. <https://doi.org/10.1097/RTI.0b013e31828d40b2>
22. Savarese G, Becher PM, Lund LH, Seferovic P, Rosano GMC, Coats AJS. Global burden of heart failure: a comprehensive and updated review of epidemiology. *Cardiovasc Res.* 2023;118(17):3272-3287. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvac013>. Erratum in: *Cardiovasc Res.* 2023 Jun 13;119(6):1453. <https://doi.org/10.1093/cvr/cvad026>
23. Jacobson FL. Radiografía de tórax en la enfermedad cardiovascular. En: Libby P, Bonow RO, Mann DL, Tomaselli GF, Bhatt DL, Solomon SD, et al., editores. Braunwald. Tratado de cardiología. 12.^a ed. España: Elsevier; 2024. p. 268-276.
24. Felker GM, Teerlink JR. Diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia cardíaca aguda. En: Libby P, Bonow RO, Mann DL, Tomaselli GF, Bhatt DL, Solomon SD, et al., editores. Braunwald. Tratado de cardiología. 12.^a ed. España: Elsevier; 2024. p. 946-974.
25. Foderaro AE, Misra AK. Insuficiencia respiratoria. En: Wing EJ, Schiffman FJ, editores. Cecil. Principios de medicina interna. 10.^a ed. España: Elsevier; 2022. p. 227-233.
26. Rhea IB, Uppuluri S, Sawada S, Schneider BP, Feigenbaum H. Incremental prognostic value of echocardiographic strain and its association with mortality in cancer patients. *J Am Soc Echocardiogr.* 2015;28(6):667-673. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2015.02.006>
27. Murbraech K, Holte E, Broch K, Smeland KB, Holte H, Rösner A, et al. Impaired right ventricular function in long-term lymphoma survivors. *J Am Soc Echocardiogr.* 2016;29(6):528-536. <https://doi.org/10.1016/j.echo.2016.02.014>
28. Keramida K, Farmakis D. Right ventricular involvement in cancer therapy-related cardiotoxicity: the emerging role of strain echocardiography. *Heart Fail Rev.* 2021;26(5):1189-1193. <https://doi.org/10.1007/s10741-020-09938-8>
29. Lindow T, Quadrelli S, Ugander M. Noninvasive imaging methods for quantification of pulmonary edema and congestion: a systematic review. *JACC Cardiovasc Imaging.* 2023;16(11):1469-1484. <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2023.06.023>

30. Meyer NJ, Gattinoni L, Calfee CS. Acute respiratory distress syndrome. *Lancet*. 2021;398(10300):622-637. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00439-6](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00439-6)
31. Yıldırım F, Karaman İ, Kaya A. Current situation in ARDS in the light of recent studies: Classification, epidemiology and pharmacotherapeutics. *Tuberk Toraks*. 2021;69(4):535-546. <https://doi.org/10.5578/tt.20219611>
32. Bos LDJ, Ware LB. Acute respiratory distress syndrome: causes, pathophysiology, and phenotypes. *Lancet*. 2022;400(10358):1145-1156. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(22\)01485-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(22)01485-4)
33. Thompson BT, Chambers RC, Liu KD. Acute respiratory distress syndrome. *N Engl J Med*. 2017;377(6):562-572. <https://doi.org/10.1056/NEJMra1608077>
34. Assaad S, Kratzert WB, Shelley B, Friedman MB, Perrino A Jr. Assessment of pulmonary edema: principles and practice. *J Cardiothorac Vasc Anesth*. 2018;32(2):901-914. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2017.08.028>
35. Herring W. Identificación de la cardiopatía en el adulto. En: Herring W, editor. *Radiología básica*. 5ª ed. España: Elsevier; 2024. p. 111-127.
36. Barile M, Hida T, Hammer M, Hatabu H. Simple quantitative chest CT for pulmonary edema. *Eur J Radiol Open*. 2020;7:100273. <https://doi.org/10.1016/j.ejro.2020.100273>
37. Zanza C, Saggiotti F, Tesauro M, Longhitano Y, Savioli G, Balzanelli MG, et al. Cardiogenic pulmonary edema in emergency medicine. *Adv Respir Med*. 2023;91(5):445-463. <https://doi.org/10.3390/arm91050034>
38. Gray A, Goodacre S, Newby DE, Masson M, Sampson F, Nicholl J; 3CPO Trialists. Noninvasive ventilation in acute cardiogenic pulmonary edema. *N Engl J Med*. 2008;359(2):142-151. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa0707992>
39. Dong LJ, Li J, Liu W, Ankaerjiang AW, Li B, Chen YT, et al. Diagnostic efficacy of lung ultrasound in cardiogenic pulmonary edema: a systematic review and meta-analysis. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2023;27(15):6947-6955. https://doi.org/10.26355/eurrev_202308_33267
40. ARDS Definition Task Force, Ranieri VM, Rubenfeld GD, Thompson BT, Ferguson ND, Caldwell E, et al. Acute respiratory distress syndrome: the Berlin Definition. *JAMA*. 2012;307(23):2526-2533. <https://doi.org/10.1001/jama.2012.5669>
41. Foderaro AE, Misra AK. Insuficiencia respiratoria. En: Wing EJ, Schiffman FJ, editores. *Cecil. Principios de medicina interna*. 10.ª ed. España: Elsevier; 2022. p. 227-233. <https://doi.org/10.1016/B978-84-1382-217-4.00020-0>
42. Kotok D, Yang L, Evankovich JW, Bain W, Dunlap DG, Shah F, et al. The evolution of radiographic edema in ARDS and its association with clinical outcomes: a prospective cohort study in adult patients. *J Crit Care*. 2020;56:222-228. <https://doi.org/10.1016/j.jcrc.2020.01.012>

43. Nishikimi M, Ohshimo S, Fukumoto W, Anzai T, Awai K, Ogura T, et al. Characteristics of the pulmonary opacities on chest CT associated with difficulty in short-term liberation from veno-venous ECMO in patients with severe ARDS. *Respir Res.* 2023;24(1):128. <https://doi.org/10.1186/s12931-023-02425-2>
44. Simon M, Braune S, Laqmani A, Metschke M, Berliner C, Kalsow M, et al. Value of computed tomography of the chest in subjects with ARDS: a retrospective observational study. *Respir Care.* 2016;61(3):316-323. <https://doi.org/10.4187/respcare.04308>
45. Chen YY, Kuo JS, Ruan SY, Chien YC, Ku SC, Yu CJ, et al. Prognostic value of computed tomographic findings in acute respiratory distress syndrome and the response to prone positioning. *BMC Pulm Med.* 2022;22(1):71. <https://doi.org/10.1186/s12890-022-01864-9>
46. Huang D, Ma H, Xiao Z, Blaivas M, Chen Y, Wen J, et al. Diagnostic value of cardiopulmonary ultrasound in elderly patients with acute respiratory distress syndrome. *BMC Pulm Med.* 2018;18(1):136. <https://doi.org/10.1186/s12890-018-0666-9>
47. Sattar SBA, Nguyen AD, Sharma S. Bacterial pneumonia. *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2025 [citado 12 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.statpearls.com/>
48. Ishida T, Tokumasu H, Washio Y, Yamazaki A, Ito Y, Tachibana H. Prognostic factors in hospitalized community-acquired pneumonia: a retrospective study of a prospective observational cohort. *BMC Pulm Med.* 2017;17(1):78. <https://doi.org/10.1186/s12890-017-0424-4>
49. Global Initiative for Asthma (GINA). 2024 GINA Main Report - Global Initiative for Asthma [Internet]. Global Initiative for Asthma; 2024 [citado 12 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://ginasthma.org/2024-report/>
50. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease (GOLD). 2024 GOLD Report - Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease [Internet]. Global Initiative for Chronic Obstructive Lung Disease; 2024 [citado 12 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://goldcopd.org/2024-gold-report/>
51. Guía ESC 2021 sobre el diagnóstico y tratamiento de la insuficiencia cardiaca aguda y crónica. *Rev Esp Cardiol* [Internet]. 2021;75(6):458-465. <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2021.11.012>
52. Estenssoro E, Dubin A. Síndrome de distrés respiratorio agudo [Internet]. *Medicina (B Aires)*. [citado 12 de febrero de 2025] Disponible en: https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0025-76802016000400008
53. Georgakopoulou V, Lempesis I, Tarantinos K, Sklapani P, Trakas N, Spandidos DA. Atypical pneumonia (Review). *Exp Ther Med.* 2024;28(5):424. <https://doi.org/10.3892/etm.2024.12713>

54. Conces DJ Jr. Opportunistic pneumonia. *Curr Probl Diagn Radiol.* 1993;22(1):3-35.
[https://doi.org/10.1016/0363-0188\(93\)90005-e](https://doi.org/10.1016/0363-0188(93)90005-e)
55. Demirkazik FB, Akin A, Uzun O, Akpınar MG, Ariyürek MO. CT findings in immunocompromised patients with pulmonary infections. *Diagn Interv Radiol.* 2008 Jun;14(2):75-82. PMID: 18553280.
56. Kunihiro Y, Tanaka N, Kawano R, Yujiri T, Kubo M, Ueda K, et al. Differential diagnosis of pulmonary infections in immunocompromised patients using high-resolution computed tomography. *Eur Radiol.* 2019;29(11):6089-6099.
<https://doi.org/10.1007/s00330-019-06235-3>
57. Omeri AK, Okada F, Takata S, Ono A, Nakayama T, Ando Y, et al. Comparison of high-resolution computed tomography findings between *Pseudomonas aeruginosa* pneumonia and Cytomegalovirus pneumonia. *Eur Radiol.* 2014;24(12):3251-3259.
<https://doi.org/10.1007/s00330-014-3326-3>
58. Murdoch DR, Chambers ST. Atypical pneumonia—time to breathe new life into a useful term? *Lancet Infect Dis.* 2009;9(8):512–9. [https://doi.org/10.1016/s1473-3099\(09\)70148-3](https://doi.org/10.1016/s1473-3099(09)70148-3)
59. Otero JM, Montoya González M, Solana Lara R, Alsina Manrique de Lara L, López Granados E, Yagüe Ribes J, et al. Inmunopatología y respuesta inmune a la infección. En: von Domarus A, Farreras P, Rozman C, Cardellach F, Nicolás JM, et al., editores. Farreras Rozman. *Medicina Interna.* 20ª ed. Barcelona: Elsevier; 2024. p. 2752-2793.
60. Masur H. Tratamiento de las infecciones oportunistas asociadas a la infección por el virus de la inmunodeficiencia humana. En: Bennett JE, Dolin R, Blaser MJ, editores. Mandell, Douglas, Bennett. *Enfermedades infecciosas. Principios y práctica.* 9ª ed. Barcelona: Elsevier; 2021. p. 1761-1786.
61. Badia JR, Torres A, Ferrer M. Enfermo respiratorio crítico. En: Farreras P, Rozman C, Cardellach F, Nicolás JM, von Domarus A, editores. Farreras-Rozman. *Medicina interna.* 20ª ed. España: Elsevier; 2024. p. 683-695.
62. Saguil A, Fargo MV. Acute respiratory distress syndrome: diagnosis and management. *Am Fam Physician.* 2020 Jun 15;101(12):730-738.
<https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32538594/>

REVISIÓN SISTEMÁTICA: “EFECTIVIDAD DE LA ESTIMULACIÓN TRANSCRANEAL DE CORRIENTE DIRECTA (tDCS) EN EL TRATAMIENTO DE PACIENTES DIAGNOSTICADOS DE FIBROMIALGIA”

M^a Esther Rubio Castillo, José Antonio García Gamuz
me.rubio@kayas.es; gamuz@um.es

RESUMEN

La fibromialgia es un síndrome de dolor crónico que afecta al sistema nervioso central causando dolor y deterioro funcional. Se caracteriza por dolor generalizado, fatiga y alteración cognitiva. Entre los tratamientos no farmacológicos se encuentra la estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS), una técnica no invasiva que se aplica en el cuero cabelludo y que ha demostrado ser beneficiosa al modular la excitabilidad neuronal en determinadas áreas cerebrales. Se ha realizado una revisión sistemática de la bibliografía publicada los últimos 8 años. Se muestran mejoras en la tolerancia al dolor, frío y funciones cognitivas como atención y memoria, además de la modulación de áreas motoras cerebrales. También una tendencia a combinar la tDCS con fármacos o ejercicio, con buenos resultados en el manejo del dolor, la ansiedad y la depresión. No obstante, aún hay discrepancias sobre su impacto en la calidad de vida, por lo que se requiere más investigación.

Palabras clave: estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS), fibromialgia.

INTRODUCCIÓN

FIBROMIALGIA

La fibromialgia (FM) es un síndrome de dolor crónico que afecta al sistema nervioso central generando discapacidad, fatiga, dolor generalizado y deterioro funcional¹. El dolor generalizado que produce responde a una respuesta aumentada de los estímulos que percibe como nociceptivos². Este síndrome además está caracterizado por la hipersensibilidad que tienen unos puntos predefinidos que se llaman *tender points*³. Tiene una prevalencia del 3-4% de la población con mayor predominio en las mujeres (10 mujeres por cada hombre)⁴ y afecta a un 2,10% de la población mundial; al 2,31% de la europea y al 2,40% a la población

española, provocando una pérdida importante en la calidad de vida de quien la padece y un elevado coste económico para el sistema (en España se estima en más de 12.993 millones de euros anuales)⁵.

La FM tiene como características principales dolor crónico (asociado o no a rigidez articular, fatiga en la mayoría de los casos, alteración del sueño, disfunción cognitiva y depresión. Además, presenta anormalidades bioquímicas, metabólicas, inmunorreguladoras y genéticas². Entre sus principales características fisiopatológicas está la mayor amplificación excitatorias de vías relacionadas con el procesamiento del dolor y cambios neuroplásticos^{6,7,8,9,10} así como una disminución en el umbral mecánico, térmico, químico, disminución de los mecanismos inhibidores descendentes^{7,11,12,13} y disfunción sexual¹⁴.

Para el tratamiento de la FM se recomienda la combinación entre manejo farmacológico y no farmacológico para evitar la cronificación del dolor^{15,16}. Por tanto, para una mayor eficacia del tratamiento, el enfoque multimodal ha de centrarse en la educación del paciente, la práctica de ejercicio, la farmacología y el tratamiento psicológico¹⁵.

DOLOR

La Asociación Internacional para el Estudio del Dolor define el dolor como “experiencia sensorial y emocional desagradable asociada con daño tisular real o potencial”^{16,17}.

Una mejora en la gestión del dolor no sólo repercute en la mejor calidad de vida de los pacientes sino también en una menor carga sobre los presupuestos de la Seguridad Social, pues se conseguiría menor absentismo laboral y mayor productividad¹⁸.

El dolor agudo comprende una respuesta fisiológica ante un estímulo adverso asociado a cirugía, traumatismo o enfermedad aguda que se produce en un corto período de duración.

A diferencia del dolor agudo, el dolor crónico perdura durante más tiempo ya que, para considerarse como tal, debe perdurar más de 3 meses, además de presentar otras características que lo diferencian del dolor agudo tal y como se establece en la Tabla I¹⁷.

Existe una gran variedad de tratamientos farmacológicos y no farmacológicos para el tratamiento de dolor crónico¹⁹. Los tratamientos no farmacológicos incluyen estrategias físicas y psicológicas para reducir el dolor y éstas se pueden utilizar como primera línea o ayudante con otras modalidades de tratamiento. Son muchas las intervenciones que se pueden realizar entre las que se encuentra la neuroestimulación eléctrica transcutánea (TENS)²⁰.

TABLA I. COMPARACIÓN ENTRE EL DOLOR AGUDO Y EL DOLOR CRÓNICO

	Dolor agudo	Dolor crónico
Estado emocional más frecuente	Ansiedad	Depresión
Duración	Menor de tres a seis meses	Mayor de tres a seis meses
Sedación	Puede ser deseable	En algunos casos
Duración de la analgesia	Hasta que pase el episodio agudo	Todo el tiempo posible
Administración de fármaco	Pautada	Pautada
Vía de administración (preferible)	Parenteral/Oral	Oral
Dosis de fármacos	Estándar	Individualizada
Medicación coadyudante	En algunos casos	Casi siempre
Dependencia y tolerancia	Raras	Frecuentes
Componente psicológico	Menos importante	Puede ser determinante

Dentro del campo de la neuroestimulación, se estudia tanto la estimulación transcraneal en pacientes con FM tanto con estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) como por estimulación magnética craneal (TMS) para mejorar los síntomas del dolor. La tDCS aplica una corriente directa y constante a través de electrodos situados en el cuero cabelludo. Consigue modular la excitabilidad neuronal y favorecer cambios en las áreas moduladoras del dolor. Por su parte, la TMS aplica un campo magnético a través del cuero cabelludo hasta el cerebro a través del cual, produce una inducción electromagnética con el fin de influir en la excitabilidad cortical y en la modulación de la actividad cerebral²¹.

TDCS

La tDCS es una técnica de neuromodulación no invasiva que ha conseguido modificar los mecanismos cerebrales desadaptativos relacionados con el dolor crónico²². Durante la aplicación de esta corriente se administra una corriente eléctrica de baja intensidad (0,5 a 2,0 mA) mediante unos electrodos en el cuero cabelludo. Diferentes estudios han demostrado que la aplicación sobre la corteza motora primaria (M1) resulta beneficiosa en el alivio del dolor^{22, 23}, habiendo recibido un nivel de recomendación eficaz para el tratamiento clínico del dolor²³. Esta técnica también se ha estudiado sobre la corteza dorsolateral prefrontal (DLPFC) encontrando mejoría en síntomas cognitivos y afectivos del paciente²².

El uso de tDCS en pacientes con FM ha mostrado beneficios en su tratamiento entre los que se encuentra, como uno de los principales, la reducción del dolor. Este efecto podría darse gracias a la modulación que la tDCS produce en la sensibilidad al dolor, así como a los mecanismos de procesamiento del mismo a nivel cerebral, lo que conlleva una mejora significativa en la calidad de vida de los pacientes²⁴. La aplicación de este tipo de corrientes puede aumentar la excitabilidad cortical lo que conlleva cambios en áreas que modulan en

dolor, lo que sería beneficioso en este tipo de pacientes ya que se ha visto que la sensibilización central típica en ellos provoca cambios neuroplásticos maladaptativos de la actividad cerebral²¹. Para conseguirlo, centra su estímulo anódico (polo positivo) en áreas como M1 ya que tiene que ver con la sensibilidad del dolor.

JUSTIFICACIÓN

El dolor crónico (que es el dolor típico que sufren los pacientes que padecen FM) tiene una alta prevalencia en la población general española teniendo un impacto negativo en las relaciones laborales, sociales²⁵, a nivel emocional y en su vida familiar²⁶. Además de ello, supone un gran impacto a nivel sanitario pues se cree que supone a Europa más de 300 billones de euros, lo que supondría un 1,5-3% del PIB y en España un 2,5% del PIB, que equivaldría a un valor de 16.000 millones de euros anuales²⁷.

En los últimos años, se ha observado cómo la neuromodulación invasiva se ha ido implantando en los estudios publicados, dando paso a un mayor interés hacia la neuromodulación no invasiva. Este aumento en la investigación ha generado una proliferación de dispositivos electrónicos comerciales, entre los que se encuentran la neuromodulación transcraneal, cuya aplicación ha ido captando mayor interés pues tiene la peculiaridad de que no se aplica en el propio foco del dolor, como hasta ahora se ha estado haciendo con otros sistemas.

OBJETIVOS

El objetivo general que se plantea en este trabajo es analizar la efectividad de la estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS) en el tratamiento de la fibromialgia (FM).

Este objetivo general se desarrolla en los siguientes específicos:

- Analizar los diferentes signos y síntomas de la fibromialgia (FM).
- Describir las consecuencias de la fibromialgia (FM) en la calidad de vida de los pacientes que la padecen.
- Conocer qué es la estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS)
- Describir los beneficios de la estimulación transcraneal de corriente directa (tDCS) en el tratamiento de la fibromialgia (FM).

MATERIAL Y MÉTODO

Se ha llevado a cabo una revisión bibliográfica sistemática a partir de la siguiente pregunta PICO tal y como aparece en la Tabla II: ¿Qué efectos tiene la estimulación transcraneal directa (tDCS) en pacientes que padecen FM?

TABLA II. COMPONENTES PICO DE LA PREGUNTA

P (Paciente)	Adultos que padecen FM.
I (Intervención)	tDCS.
C (Comparación)	Otras técnicas o ninguna.
O (Resultado)	Efectividad de la intervención.

Los criterios de inclusión establecidos para los artículos encontrados fueron:

- Estudios que hayan sido realizados en adultos.
- Estudios que estén relacionados con la utilización de la tDCS en pacientes con FM.
- Estudios publicados entre el año 2016 al 2023.
- Estudios que se encuentren publicados en inglés o español.
- Estudios con posibilidad de acceso a texto completo.

La búsqueda de los diferentes estudios se ha realizado entre los meses de octubre y diciembre del año 2023. Para ello, se han empleado las palabras claves obtenidas de la pregunta PICO, enlazadas con el operador “AND” y el uso de paréntesis. En cuanto a los descriptores de Ciencias de la Salud (DeCS) utilizados, se alterna los términos en castellano e inglés: estimulación transcraneal de corriente directa, *transcranial direct current stimulation*, fibromialgia, *fibromyalgia*. Para optimizar la búsqueda, se han utilizado bases de datos especializadas en ciencias de la salud como son Pubmed, Dialnet, Scielo y PEDro.

Como se puede observar en la Figura 1, tras combinar los diferentes términos utilizados y aplicar los filtros descritos en la tabla anterior, se obtiene un total de 52 artículos de los cuales son descartados 4 por estar repetidos en las diferentes bases de datos. Para realizar el cribado de los estudios seleccionados, se consideraron primero el título y el resumen de éstos para comprobar si cumplían con los criterios de selección que se plantearon en el motivo del estudio. A continuación, se descartaron aquellos que se centraban en otras patologías, los que analizaban otro tipo de corrientes, así como otras revisiones sistemáticas.

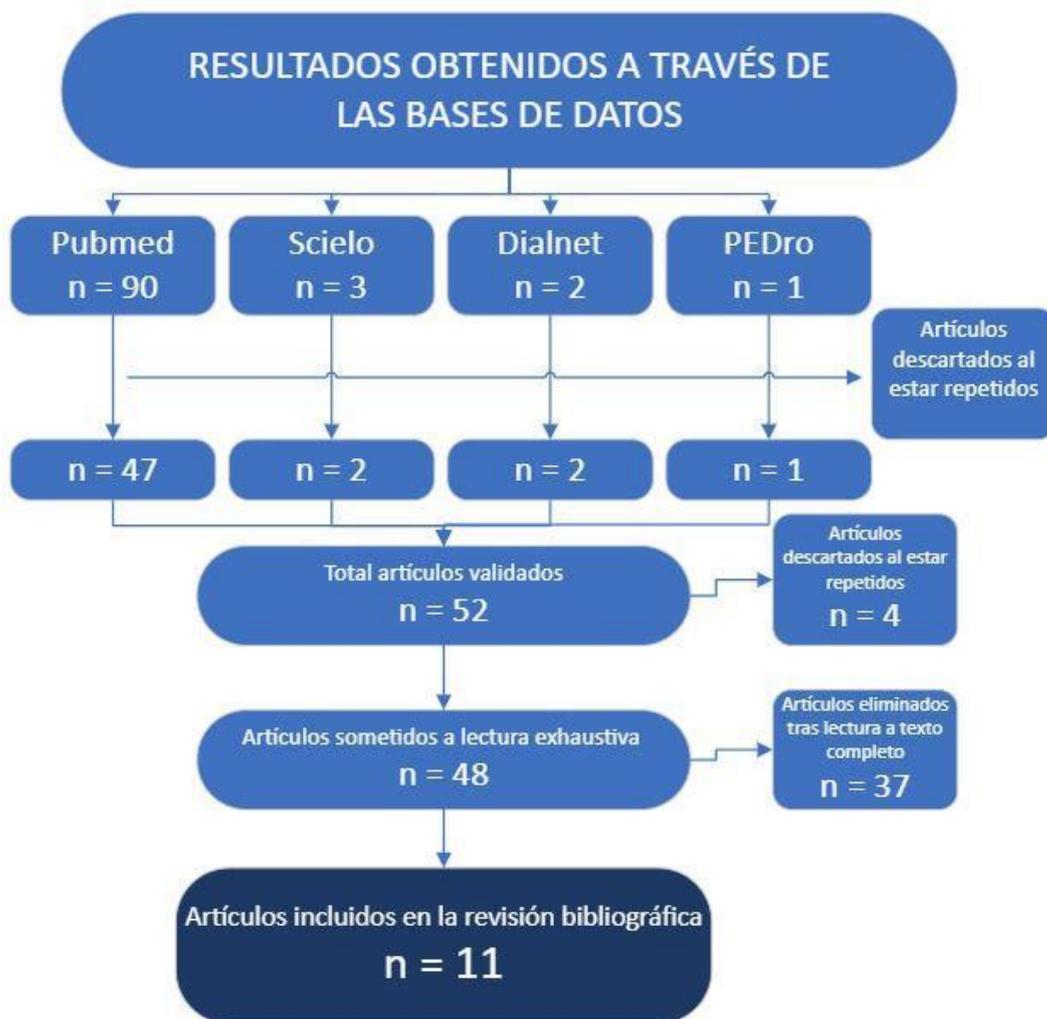


Figura 1. Diagrama de flujo en base a los resultados obtenidos a través de las bases de datos.

Se evaluó la calidad de los artículos usando la escala PEDro, incluyendo aquellos cuya calidad metodológica era buena o excelente. Los ítems de la escala usada son: 1. Criterios de elección especificados. 2. Sujetos asignados al azar a los grupos. 3. Asignación oculta. 4. Grupos similares al inicio en relación a los indicadores. 5. Sujetos cegados. 6. Terapeutas cegados. 7. Evaluadores cegados. 8. Medidas de al menos uno de los resultados obtenidos de más de más de un 85% de los sujetos inicialmente asignado a los grupos. 9. Se presentan resultados de todos los sujetos que recibieron tratamiento o fueron asignados al grupo control, o cuando esto no pudo ser, los datos para la menos un resultado clave fueron analizados “por intención de tratar”. 10. Los resultados entre grupos son informados para al menos un resultado clave. 11. El estudio proporciona medidas puntuales y de variabilidad para el menos un resultado clave. Una vez revisados según estos ítems, se incluyeron un total de 11 artículos en la revisión bibliográfica.

RESULTADOS

El análisis de los estudios que han formado parte de esta revisión bibliográfica proporciona los resultados que se indican a continuación para cada uno de ellos:

- Shein B et al.²⁸ aplicó corriente eléctrica mediante un dispositivo ANVISA en Brasil a 7 pacientes con FM usando tDCS en DLPFC dorsolateral izquierdo que corresponde a la estimulación sobre F3 y cátodo (electrodo negativo) en F4. Se comparó con un grupo placebo (8 pacientes) y otro con hipnosis (HAS, 9 pacientes). La HAS mejoró la tolerancia al dolor y al frío, mientras que el tDCS aumentó la excitabilidad de la corteza motora primaria, sugiriendo una mayor regulación del dolor en las vías corticoespinales.
- Samartín Veiga N et al.²⁹ comparó los efectos de la tDCS en diferentes áreas cerebrales (M1, DLPFC y OCI) utilizando el dispositivo Starslim TDCS en 15 sesiones de 15 minutos. Participaron 130 mujeres distribuidas en cuatro grupos, incluido un grupo de control. Los resultados mostraron una mejora en la calidad de vida en todos los grupos, sin diferencias significativas entre ellos.
- Serrano PV et al.³⁰ investigó el efecto de la tDCS domiciliaria en el rendimiento cognitivo de pacientes con FM. Se comparó la estimulación anódica en DLPFC izquierdo en 24 mujeres frente a un grupo placebo de 12 mujeres. Tras 20 sesiones (5 por semana durante 4 semanas), los resultados mostraron una mejora cognitiva en el grupo con tDCS activa, además de una mayor reducción del Factor neurotrófico derivado del cerebro (BDNF) sérico. Estos hallazgos sugieren un impacto positivo de la tDCS en el tratamiento de la FM.
- La Rocca M. et al.³¹ investigó los efectos de la tDCS anódica en pacientes con FM mediante espectroscopia funcional en el infrarrojo cercano (fNIRS). En una única sesión de 20 minutos, se estimuló la corteza motora primaria (M1) en un grupo de 28 mujeres con FM y un grupo control (11 personas), comparándolo con una técnica simulada en otro grupo de 26 pacientes (11 de control). Los resultados mostraron que la tDCS restauró el hipometabolismo cortical previo, sugiriendo posibles cambios funcionales en la red motora que podrían influir en la modulación del dolor.
- Paula T.M.H. et al.³² analizó la relación entre la tDCS y el tratamiento farmacológico en mujeres con FM. Se evaluaron los efectos analgésicos, la neuromodulación del dolor y los niveles séricos de BDNF en cuatro grupos con diferentes combinaciones de tratamiento y placebo. Se puede observar que la tDCS, cuando se combinó con la farmacoterapia, redujo la frecuencia e intensidad del dolor, así como su impacto

funcional y emocional, además de disminuir síntomas depresivos y ansiosos. Sin embargo, la combinación de terapias no mostró beneficios en la regulación de BDNF, sugiriendo posibles diferencias en los mecanismos de acción.

- Ramasawny P. et al.³³ evaluó los efectos de la tDCS combinada con Meditación Plena (MM) en mujeres con FM. Se realizaron 10 sesiones de estimulación en 32 pacientes, comparándolas con un grupo que solo recibió MM y otro grupo control sin tratamiento. Se constató una mejora en la calidad de vida de las pacientes que recibieron la terapia combinada, pero no se observaron cambios significativos en la sensibilidad al dolor ni en otros síntomas asociados a la FM.
- Bietzke A.P. et al.³⁴ utilizó un dispositivo HB-tDCS de uso domiciliario para poder plantear tratamientos más largos en mujeres con FM. Se realizaron 60 sesiones de 30 minutos estimulando la corteza prefrontal dorsolateral izquierda (DLPFC) en un grupo de 20 pacientes, de las cuales 10 recibieron estimulación real y 10 fueron parte del grupo control con estimulación simulada. Se obtuvo que la tDCS activa mejoró el dolor, los síntomas psicológicos, la calidad del sueño y la discapacidad, efectos que no se observaron en el grupo de control.
- El dispositivo usado por De Melo et al.³⁵ fue un tDCS-TDT Research 1x1 en 3 grupos diferentes de mujeres con FM., comparando la estimulación real durante 5 y 10 días con una técnica simulada. Se observó que la tDCS moduló la actividad neuronal, reflejada en una disminución de la potencia espectral alfa 2, en ambos grupos que recibieron estimulación activa. Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas en la reducción del dolor entre los grupos estudiados, incluyendo el grupo placebo.
- Santos V.S.D.S.D. et al.³⁶ usó un dispositivo tDCS TDT para evaluar los efectos de la tDCS combinada con entrenamiento cognitivo en mujeres con FM. Se comparó un grupo que recibió estimulación real sobre la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC) con otro que realizó el mismo entrenamiento, pero con estimulación simulada. Se obtuvieron mejoras en las curvas de aprendizaje, fluidez verbal y semántica en las pacientes que recibieron tDCS. Además, se observó que niveles elevados de BDNF sérico previos al tratamiento se asociaron con menores cambios tras la intervención.
- Silva A.F. et al.³⁷ evaluó los efectos de tDCS sobre la atención y el procesamiento del dolor en mujeres con FM. Se comparó un grupo que recibió estimulación real en la DLPFC con otro que recibió estimulación simulada mientras realizaban una tarea cognitiva. Se observó en los resultados mejoras significativas en el desempeño de la tarea,

la atención ejecutiva y el rendimiento cognitivo. Además, un aumento en el umbral y la tolerancia al dolor por calor en las pacientes que recibieron la estimulación activa.

- Mendonca M.E. et al.³⁸ analizó los efectos de la tDCS combinada con ejercicio activo (AE) en pacientes con FM. Se compararon tres grupos: uno con tDCS y AE, otro con AE y estimulación simulada, y un tercero con tDCS real pero ejercicio simulado. Los resultados mostraron que la combinación de tDCS y AE produjo mayores reducciones en la intensidad del dolor, la ansiedad y la depresión, además de un aumento significativo en el umbral del dolor en comparación con la aplicación aislada de tDCS. No se encontraron diferencias significativas en la excitabilidad cortical entre los grupos.

DISCUSIÓN

La FM es un síndrome de dolor crónico caracterizado por dolor musculoesquelético generalizado, fatiga, alteraciones del sueño y disfunción cognitiva^{28, 29}. Su origen es desconocido, pero está asociado a la sensibilización central²⁸, un proceso que implica hiperexcitabilidad neuronal y disminución de la inhibición en las vías moduladoras del dolor. La estimulación anódica de la corteza motora primaria (M1) ha demostrado reducir la intensidad del dolor en FM, mientras que la corteza prefrontal juega un papel clave en la regulación del dolor y en funciones cognitivas como la atención, memoria y toma de decisiones²⁸.

La tDCS es una técnica de neuromodulación no invasiva que aplica una corriente eléctrica de baja intensidad (0,5 a 2,0 mA) a través de electrodos colocados en el cuero cabelludo. Generalmente, se utilizan electrodos de 35 cm²^{28, 30, 31, 32, 34, 35, 36, 37, 38}, aunque hay excepciones. Esta técnica tiene como objetivo modificar los mecanismos cerebrales desadaptativos asociados con el control crónico del dolor, principalmente en la corteza motora primaria (M1)^{29, 30, 31, 32, 33, 35, 38}. Además, se ha observado que la tDCS también puede estimular la corteza prefrontal dorsolateral (DLPFC), lo que podría influir en el estado de ánimo, las funciones cognitivas y el funcionamiento emocional desadaptativo^{28, 29, 30, 34, 36, 37}. En referencia al dispositivo utilizado, existe una gran variedad de modelos. Tampoco existe un criterio común respecto al tiempo y número de sesiones realizadas.

Se han encontrado diferentes tipos de abordajes que pueden contribuir a la mejora de los síntomas que ocasionan la FM.

Los pacientes sometidos a tratamiento de tDCS frente con los grupos placebo y de HAS muestran una mayor tolerancia al dolor y al frío^{28, 34}. También, la combinación de tDCS con tratamiento farmacológico provocó una disminución de la intensidad de la escala de

valoración del dolor, la frecuencia del dolor, la interferencia que provocaba en otras actividades y emociones, así como en los síntomas depresivos, ansiedad y pensamientos catastróficos³². Por el contrario, la combinación de la tDCS con MM no muestra mejoría frente al dolor en comparación con el grupo placebo³³ y De Melo et al.³⁵ observó una modulación de la actividad neuronal, pero no encontró diferencias frente al dolor en comparación con el grupo placebo. También se encuentra una mejoría en la intensidad del dolor al combinar la tDCS con ejercicio activo³⁸.

En cuanto a los resultados obtenidos sobre la calidad de vida de los pacientes que sufren FM, algunos estudios muestran una mejoría en los grupos activos frente a los de control, pero siempre combinando la tDCS con otras técnicas, como la MM³³.

El nivel cognitivo de los pacientes mejora en los pacientes sometidos a tDCS en cuanto a la atención ejecutiva, la atención dividida, la memoria de trabajo y la flexibilidad cognitiva³⁰. También se observa una mejoría en las curvas de aprendizaje de trabajo³⁶ y cambios en el desempeño de una tarea³⁷.

Por último, respecto al efecto de la tDCS sobre los niveles séricos de BDNF, hay estudios que observan una disminución al aplicar el tratamiento, que coincidía con la mejora del rendimiento cognitivo³⁰ y cuando se aplicaba de manera aislada, pero no cuando se combinaba con farmacología³². En cuanto al aumento de la actividad hemodinámica en regiones motoras, hay estudios que concluyen que la tDCS restaura el hipometabolismo de las zonas afectadas en pacientes con FM³¹.

LIMITACIONES

Es importante destacar que existen diferencias significativas entre los estudios en cuanto al uso de dispositivos, el número de sesiones y las áreas en dónde se aplica la estimulación. Además, se observa una variabilidad importante en la presentación de los estudios ya que algunos utilizan la técnica de tDCS de manera aislada y otros en combinación con otros tratamientos, lo que dificulta la realización de comparaciones directas y la estandarización de los resultados. Por lo tanto, es necesario seguir investigando en este campo para obtener una comprensión más profunda de los efectos de la tDCS en pacientes con fibromialgia.

CONCLUSIONES

Tras la realización de este trabajo se han llegado a las siguientes conclusiones:

1. La fibromialgia (FM) es un síndrome de dolor crónico que abarca diversos signos y síntomas como el dolor musculoesquelético generalizado, fatiga, alteración del sueño y

disfunción cognitiva. Aunque su origen no se conoce completamente, parece estar influenciado por un deterioro neuronal y de las vías nociceptivas.

2. La fibromialgia (FM) puede ocasionar efectos significativos en la vida de los pacientes, afectando tanto a su bienestar físico, psicológico y social, así como generando un considerable impacto económico debido al aumento de las incapacidades asociadas a esta enfermedad.
3. La estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) es una técnica de neuromodulación no invasiva que aplica corrientes eléctricas de baja intensidad en el cuero cabelludo del paciente, con el fin de modular la actividad cerebral y actuar sobre mecanismos cerebrales desadaptativos asociados al control del dolor.
4. La estimulación transcraneal por corriente directa (tDCS) ha mostrado beneficios en la tolerancia al dolor y al frío. Sin embargo, hay discrepancias en cuanto a su impacto en la calidad de vida, mientras que los resultados son más consistentes en cuanto a mejoras cognitivas incluyendo la atención y la memoria, así como en la modulación de la actividad cerebral en regiones motoras. Respecto a los niveles séricos de BDNF, se ha observado una disminución en algunos casos.

BIBLIOGRAFÍA

63. Janssen LP, Medeiros LF, Souza AD, Deitos A, Vercelino R, de Souza ICN, et al. Fibromyalgia: A Review of Related Polymorphisms and Clinical Relevance. *An Acad Bras Cienc.* 2021;93(suppl 4):e20210618. <https://doi.org/10.1590/0001-3765202120210618>
64. García Rodríguez DF, Abud Mendoza C. Fisiopatología de la fibromialgia. *Reumatol Clin.* 2020;16(3):191–4. <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2020.02.003>
65. Belenguer R, Ramos-Casals M, Siso A, Rivera J. Clasificación de la fibromialgia. Revisión sistemática de la literatura. *Reumatol Clin.* 2009;5(2):55–62. <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2008.07.001>
66. Acosta M, de Madariaga CJ, Garrido MM. Fibromialgia: cuando el dolor es una historia de vida. *Index de Enfermería [Internet].* 2010;19(2–3):196–200. [citado el 12 de febrero de 2025] Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962010000200027
67. Cabo-Meseguer A, Cerdá-Olmedo G, Trillo-Mata JL. Fibromialgia: prevalencia, perfiles epidemiológicos y costes económicos. *Med Clin (Barc).* 2017;149(10):441–8. <https://doi.org/10.1016/j.medcli.2017.06.008>
68. Consensus Document on Fibromyalgia: The Copenhagen Declaration. *J Musculoskelet Pain.* 1993;1(3-4):295-312. https://doi.org/10.1300/J094v01n03_33

69. World Health Organization. International Statistical Classification of Diseases and Related Health Problems. 10th ed. Geneva: World Health Organization; Fifth edition 1996. [Citado el 28 de febrero de 2025] Disponible en: <https://apps.who.int/iris/bitstream/10665/246208/1/9789241549165-V1-eng.pdf>
70. English B. Neural and psychosocial mechanisms of pain sensitivity in fibromyalgia. *Pain Manag Nurs*. 2014;15(2):530-538. <https://doi.org/10.1016/j.pmn.2012.07.009>
71. Sluka KA, Clauw DJ. Neurobiology of fibromyalgia and chronic widespread pain. *Neuroscience*. 2016;338:114-129. <https://doi.org/10.1016/j.neuroscience.2016.06.006>
72. Bosma RL, Mojarad EA, Leung L, Pukall C, Staud R, Stroman PW. fMRI of spinal and supra-spinal correlates of temporal pain summation in fibromyalgia patients. *Hum Brain Mapp*. 2016;37(4):1349-1360. <https://doi.org/10.1002/hbm.23106>
73. Cagnie B, Coppieters I, Denecker S, Six J, Danneels L, Meeus M. Central sensitization in fibromyalgia? A systematic review on structural and functional brain MRI. *Semin Arthritis Rheum*. 2014;44(1):68-75. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2014.01.001>
74. Craggs JG, Staud R, Robinson ME, Perlstein WM, Price DD. Effective connectivity among brain regions associated with slow temporal summation of C-fiber-evoked pain in fibromyalgia patients and healthy controls. *J Pain*. 2012;13(4):390-400. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2012.01.002>
75. Lim M, Roosink M, Kim JS, Kim DJ, Kim HW, Lee EB, et al. Disinhibition of the primary somatosensory cortex in patients with fibromyalgia. *Pain*. 2015;156(4):666-674. <https://doi.org/10.1097/j.pain.0000000000000096>
76. Smith HS, Harris R, Clauw D. Fibromyalgia: An afferent processing disorder leading to a complex pain generalized syndrome. *Painphysicianjournal.com*. 2011 [citado el 9 de marzo de 2024]. Disponible en: <https://www.painphysicianjournal.com/current/pdf?article=MTQ1Ng%3D%3D&journal=60>.
77. Velasco M. Dolor musculoesquelético: fibromialgia y dolor miofascial. *Rev médica Clín Las Condes*. 2019;30(6):414-27. <https://doi.org/10.1016/j.rmclc.2019.10.002>
78. Sarzi-Puttini P, Giorgi V, Marotto D, Atzeni F. Fibromyalgia: an update on clinical characteristics, aetiopathogenesis and treatment. *Nat Rev Rheumatol*. 2020;16(11):645-60. <https://doi.org/10.1038/s41584-020-00506-w>
79. Blanco-Tarrío E. Tratamiento del dolor agudo. *Semergen*. 2010;36(7):392-8. <https://doi.org/10.1016/j.semerg.2010.05.003>
80. Puebla Díaz F. Tipos de dolor y escala terapéutica de la OMS: Dolor iatrogénico. *Oncol (Barc)*. 2005; 28(3):33-7. [citado el 12 de febrero de 2025] Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-48352005000300006
81. Pedrajas Navas JM, Molino González ÁM. Bases neuromédicas del dolor. *Clin Salud*. 2008;19(3):277-93. [citado el 12 de febrero de 2025] Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1130-52742008000300002

82. Lewis MJM, Kohtz C, Emmerling S, Fisher M, Mcgarvey J. Control del dolor e intervenciones no farmacológicas. *Nursing*. 2019;36(3):55–8. <https://doi.org/10.1016/j.nursi.2019.05.014>
83. Conde-Antón Á, Hernando-Garijo I, Jiménez-del-Barrio S, Mingo-Gómez MT, Medrano-de-la-Fuente R, Ceballos-Laita L. Efectos de la estimulación transcraneal por corriente directa y de la estimulación magnética transcraneal en pacientes con fibromialgia. Revisión sistemática. *Neurología*. 2023;38(6):427–39. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2020.07.024>
84. Ramos-Argüelles F, Morales G, Egozcue S, Pabón RM, Alonso MT. Técnicas básicas de electroencefalografía: principios y aplicaciones clínicas. *An Sist Sanit Navar*. 2009;32:69–82. [citado el 12 de febrero de 2025] Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1137-66272009000600006
85. Schein B, Beltran G, França BR, Sanches PRS, Silva DP Jr, Torres IL, et al. Effects of hypnotic analgesia and transcranial direct current stimulation on pain tolerance and corticospinal excitability in individuals with fibromyalgia: A cross-over randomized clinical trial. *J Pain Res*. 2023;16:187–203. <https://doi.org/10.2147/jpr.s384373>
86. Thair H, Holloway AL, Newport R, Smith AD. Transcranial direct current stimulation (tDCS): A beginner’s guide for design and implementation. *Front Neurosci* . 2017;11. <https://doi.org/10.3389/fnins.2017.00641>
87. Català E, Reig E, Artés M, Aliaga L, López JS, Segú JL. Prevalence of pain in the Spanish population telephone survey in 5000 homes. *Eur J Pain*. 2002;6(2):133–40. <https://doi.org/10.1053/eujp.2001.0310>
88. Dueñas, M., Salazar, A., Ojeda, B., Fernández-Palacín, F., Micó, J., Torres, L., & Failde, I. Estudio nacional de prevalencia del dolor crónico en la población general española: identificación de subgrupos clínicos mediante análisis de clusters. *Medicina del dolor*. 2015; 164,811-22. <https://doi.org/10.1111/pme.12640>.
89. Torralba A, Miquel A, Darba J. Situación actual del dolor crónico en España: iniciativa “Pain Proposal”. *Rev Soc Esp Dolor*. 2014;21(1):16–22. <https://doi.org/10.4321/S1134-80462014000100003>
90. Schein B, Beltran G, França BR, Sanches PRS, Silva DP Jr, Torres IL, et al. Effects of hypnotic analgesia and transcranial direct current stimulation on pain tolerance and corticospinal excitability in individuals with fibromyalgia: A cross-over randomized clinical trial. *J Pain Res*. 2023;16:187–203. <https://doi.org/10.2147/jpr.s384373>
91. Samartin-Veiga N, González-Villar AJ, Pidal-Miranda M, Vázquez-Millán A, Carrillo-de-la-Peña MT. La estimulación transcraneal de corriente directa activa y simulada (tDCS) mejoró la calidad de vida en pacientes femeninas con fibromialgia. *Calidad de vida Res*. 2022;31(8):2519–34. <https://doi.org/10.1007/s11136-022-03106-1>
92. Serrano PV, Zortea M, Alves RL, Beltrán G, Bavaresco C, Ramalho L, et al. The effect of home-based transcranial direct current stimulation in cognitive performance in

- fibromyalgia: A randomized, double-blind sham-controlled trial. *Front Hum Neurosci.* 2022;16. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2022.992742>
93. La Rocca M, Clemente L, Gentile E, Ricci K, Delussi M, de Tommaso M. Efecto de una sola sesión de estimulación transcranial anódica de corriente directa M1 (TDCS) sobre la actividad hemodinámica cortical: un estudio piloto en fibromialgia. *Ciencia del cerebro.* 2022;12(11):1569. <https://doi.org/10.3390/brainsci12111569>
94. Paula TMH de, Castro MS, Medeiros LF, Paludo RH, Couto FF, Costa TR da, et al. Association of low-dose naltrexone and transcranial direct current stimulation in fibromyalgia: a randomized, double-blinded, parallel clinical trial. *Braz J Anesthesiol.* 2023;73(4):409–17. <https://doi.org/10.1016/j.bjane.2022.08.003>
95. Ramasawmy P, Khalid S, Petzke F, Antal A. Pain reduction in fibromyalgia syndrome through pairing transcranial direct current stimulation and mindfulness meditation: A randomized, double-blinded, sham-controlled pilot clinical trial. *Front Med (Lausanne).* 2022;9. <https://doi.org/10.3389/fmed.2022.908133>
96. Brietzke AP, Zortea M, Carvalho F, Sanches PRS, Silva DP Jr, Torres IL da S, et al. Large treatment effect with extended home-based transcranial direct current stimulation over dorsolateral prefrontal cortex in fibromyalgia: A proof of concept sham-randomized clinical study. *J Pain.* 2020;21(1–2):212–24. <https://doi.org/10.1016/j.jpain.2019.06.013>
97. De Melo GA, de Oliveira EA, dos Santos Andrade SMM, Fernández-Calvo B, Torro N. Comparison of two tDCS protocols on pain and EEG alpha-2 oscillations in women with fibromyalgia. *Sci Rep.* 2020;10(1):18955. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-75861-5>
98. Santos VS, Zortea M, Alves RL, Naziazeno CC, Saldanha JS, Carvalho SC, et al. Cognitive effects of transcranial direct current stimulation combined with working memory training in fibromyalgia: a randomized clinical trial. *Sci Rep.* 2018;8(1):12477. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-018-30127-z>
99. Silva AF, Zortea M, Carvalho S, Leite J, Torres IL da S, Fregni F, et al. Anodal transcranial direct current stimulation over the left dorsolateral prefrontal cortex modulates attention and pain in fibromyalgia: randomized clinical trial. *Sci Rep.* 2017;7(1):135. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-017-00185-w>
100. Mendonca ME, Simis M, Grecco LC, Battistella LR, Baptista AF, Fregni F. Transcranial direct current stimulation combined with aerobic exercise to optimize analgesic responses in fibromyalgia: A randomized placebo-controlled clinical trial. *Front Hum Neurosci.* 2016;10 68. <https://doi.org/10.3389/fnhum.2016.00068>

UTILIDAD DE LA TERMOGRAFÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA RADIOTERAPIA EXTERNA SOBRE LA PIEL

Ferran Miralles Cabañero¹, Carlos Galindo González², Rosa M^a Cibrian Ortíz de Anda³,
Rosario Salvador Palmer⁴, Javier Vijande Ansejo⁵

¹Facultad de Física. Universitat de València; ²Departamento de Biofísica y Física Médica. Facultad de Medicina. Universitat de València; ³ Departamento de Biofísica y Física Médica. Facultad de Medicina. Universitat de València; ⁴ Departamento de Biofísica y Física Médica. Facultad de Medicina. Universitat de València; ⁵Departamento de Física Atómica, Molecular y Nuclear. Universitat de València.
fcabanyero@gmail.com; carlos.galindo@uv.es; rosa.m.cibrian@uv.es; rosario.salvador@uv.es;
javier.vijande@uv.es

RESUMEN

La radiodermatitis es una reacción adversa al tratamiento de radioterapia. La piel que se encuentra en el campo de tratamiento se ve afectada. Escalas como la CTCAE, son el sistema actual de evaluación y basan su grado de clasificación según observación clínica de signos y síntomas, como la presencia de eritema, que dependen en parte de la percepción del evaluador. La termografía infrarroja es una técnica de imagen, no invasiva, no ionizante y sin contacto que mide la emisión de radiación infrarroja y genera un mapa de temperatura en tiempo real y de forma dinámica, que permite la identificación de patrones térmicos anómalos y la cuantificación de estos cambios de temperatura asociados a efectos secundarios del tratamiento. Se presenta un estudio de 19 pacientes con cáncer de cabeza y cuello tratados con radioterapia con un seguimiento a lo largo del tratamiento que se correlacionará con los valores de la escala subjetivaCTCAE.

INTRODUCCIÓN

La radioterapia desempeña un rol importante en el tratamiento de pacientes con cáncer de cabeza y cuello al lograr un control local y preciso del tumor. El cáncer de cabeza y cuello es un término que engloba un grupo de tumores que se desarrollan en el cuello y en la cabeza. Normalmente se desenvuelven en las células de las superficies húmedas de áreas como la boca o laringe y representan del 4 al 5% de todos los cánceres. Se relacionan con el tabaquismo y alcoholismo, aunque no es exclusivo de estos consumidores. El grupo englobado contiene distintas localizaciones: de suelo de boca, orofaringe, cavidad nasal, lengua y glándula salivar ^[1]. Existen retos debido a la complejidad anatómica y la proximidad

de estructuras críticas en estos pacientes, pero con el uso técnicas como la radioterapia de intensidad modulada (IMRT) y al trabajo de oncólogos y radiofísicos en la planificación de cada paciente se logra administrar dosis precisas y focalizadas ^[2]. No obstante, la piel que se encuentra en el campo de tratamiento se ve afectada en la mayoría de los casos y se presenta una reacción cutánea adversa conocida como radiodermatitis, que se manifiesta clínicamente con síntomas como eritema, descamación seca, descamación húmeda y, en casos severos, ulceraciones ^[3]. La evaluación clínica de la radiodermatitis se realiza tradicionalmente mediante escalas como la CTCAE v5.0 ^[4], que se basan en la observación clínica de signos y síntomas. Estas escalas a pesar de ser ampliamente aceptadas presentan limitaciones inherentes a su subjetividad. Se ha demostrado que la experiencia del evaluador, la iluminación de la sala, la percepción del color y otros factores ambientales pueden afectar la asignación del grado de toxicidad (Gtox) ^[5] en estas escalas. Incluso evaluadores entrenados pueden diferir en la asignación de grados, especialmente en los niveles intermedios, por ejemplo, entre grado 1 y 2 términos como “eritema leve” versus “eritema moderado a intenso” pueden interpretarse de manera diferente por distintos evaluadores ^[6].

En este contexto, la termografía infrarroja es una técnica que se ha utilizado para la evaluación objetiva de las alteraciones térmicas en la piel, permitiendo detectar cambios sutiles que preceden a las manifestaciones clínicas evidentes ^[7, 8]. La termografía se basa en la captura de datos de radiación electromagnética emitida por los cuerpos con una temperatura mayor que la del cero absoluto (-273.15°C). Esta técnica tiene amplios usos en diferentes ámbitos de la física, como bien la óptica, la astrofísica o la física médica, cada uno con su correspondiente fin. La termografía infrarroja es una técnica de imagen, no invasiva, no ionizante y sin contacto que mide la radiación infrarroja emitida por la superficie de la piel y permite evaluaciones dinámicas y en tiempo real mediante el análisis gráfico y cuantitativo de los datos térmicos: genera mapas de colores que representan la distribución de temperatura, facilita la identificación de patrones térmicos anómalos y proporciona valores numéricos precisos de la temperatura en áreas seleccionadas, lo que permite realizar mediciones objetivas y reproducibles. Esto resulta especialmente valioso durante el curso de la radioterapia, ya que permite monitorizar el progreso de la radiodermatitis, así, un paciente que presenta un eritema leve clínicamente (grado I según CTCAE) podría mostrar un aumento medible de la temperatura o un cambio en el patrón vascular en las imágenes termográficas en una etapa temprana del tratamiento y que puede evolucionar a un mayor daño ^[9, 10].

El presente estudio se propone evaluar la utilidad de la termografía en la monitorización de los cambios térmicos asociados a la radioterapia en pacientes con cáncer de cabeza y cuello,

zona especialmente vascularizada, correlacionando estos hallazgos con los grados de toxicidad cutánea observados clínicamente. Además, se exploran las posibles discrepancias entre la evaluación subjetiva y los datos termográficos, con el objetivo de proponer un método que contribuya a una mayor objetividad en la valoración de la radiodermatitis.

MATERIAL Y MÉTODOS

La muestra estuvo compuesta por 19 pacientes diagnosticados con cáncer de cabeza y cuello sometidos a radioterapia externa. Los datos clínicos, características del tumor, estadio y dosis administrada se muestran en la Tabla I y las zonas en la Figura 1. La selección de pacientes se realizó en el Hospital Universitario y Politécnico La Fe de Valencia.



Figura 1. PTV de un paciente con las diferentes zonas irradiadas.

A cada paciente se le realizó un seguimiento termográfico que se llevó a cabo en cuatro momentos:

- Visita basal: antes de iniciar la radioterapia.
- Segunda visita: a las 4 semanas de iniciado la RT (mitad de tratamiento).
- Tercera visita: al finalizar la radioterapia.
- Cuarta visita: 2 semanas después de concluir el tratamiento

En cada sesión, se tomaron imágenes utilizando la cámara termográfica FLIR E76. Se adquirieron 4 registros termográficos desde diversas perspectivas: frontal, frontal inclinado con el paciente mirando hacia arriba de los perfiles laterales (Figuras 2, 3, 4 y 5), para abarcar las zonas de interés, definidas previamente según el Planning Target Volume (PTV) obtenido del TAC (Figura 5), estas áreas de interés en el análisis termográfico son cruciales ya que establece un marco de referencia anatómico que orienta la posterior selección de regiones en las imágenes térmicas, garantizando que la medición se realice en áreas de máxima relevancia clínica.



Figura 2. Termografía frontal



Figura 3. Termografía frontal inclinada

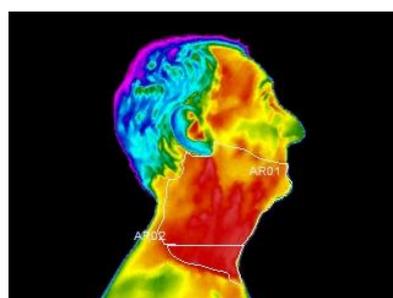


Figura 4. Termografía lateral izquierda



Figura 5. Termografía lateral derecha

La valoración de la radiodermatitis se realizó de forma paralela e independiente a la adquisición de las termografías, utilizando la escala CTCAE v5.0 (Tabla II) en cada visita. Las imágenes termográficas fueron procesadas con el software ThermaCamResearcherPro 2.10, en el cual se realiza el análisis cuantitativo en áreas delimitadas, las mismas áreas utilizadas en el planning. Se ha utilizado parámetros estandarizados de emisividad (0,98 para la piel) y temperatura ambiental y humedad relativa registradas con un termo-higrómetro en cada visita.

TABLA I. NUMERACIÓN DE PACIENTES CON EL CORRESPONDIENTE TUMOR, ESTADÍO Y DOSIS RECIBIDA

Paciente	Localización Tumor	Estadío	Dosis Recibida (Gy)
1	Encía	4	70
2	Suelo de boca	3	60
3	Vallecula	4	70
4	Lengua	3	54
5	Lengua	4	70
6	Laringe	4	70
7	Lengua	4	70
8	Orofaringe: Fosa amigdalina	2	63
9	Laringe	3	70
10	Lengua	4	-
11	Lengua	4	60
12	Seno maxilar y nasal	4	70
13	Laringofaringe: supraglotis	3	70
14	Laringe	4	66
15	Suelo de boca	4	-
16	Lengua	4	70
17	Orofaringe: fosa amigdalina	4	70
18	Laringe	4	70
19	Glándula salivar: parótida	4	60

TABLA II. CRITERIO PARA LA DERMATITIS PRODUCIDA POR RADIACIÓN CTCAE v.5

Grado 1	Grado 2	Grado 3	Grado 4	Grado 5
Eritema leve o descamación seca	Eritema de moderado a intenso; descamación húmeda en pliegues de la piel; edema moderado	Descamación húmeda más allá que en pliegues de la piel; sangrado inducido por abrasiones o traumas menores.	Necrosis o ulceración de todo el grueso de la dermis; sangrado espontáneo.	Muerte

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Durante la toma de datos se anotaron las anomalías mostradas por diferentes pacientes como diferencias de temperaturas entre zonas simétricas igualmente radiadas, casos en los que la resolución de las imágenes no es buena o bien cualquier aspecto que pueda llegar a afectar a las medidas de forma directa y que no se pueden controlar, como podría ser alguna venda o la presencia de collarines traqueotomía en los pacientes.

El análisis de las imágenes térmicas mostró una tendencia general en la que la temperatura de la piel irradiada aumentaba significativamente durante la segunda visita, seguido de una disminución progresiva en las visitas subsecuentes.

En la medida basal el grado de toxicidad se supone 0 pues no hay exposición a la radiación, sin embargo, podemos ver que hay cierta correlación entre los grados de toxicidad y la temperatura registrada con la cámara termográfica sobre todo para el grado 3. Para los grados 1 y 2 vemos que no hay tanta diferencia de temperatura. Es por esto que, si queremos un mejor diagnóstico para el paciente necesitamos objetivizar el criterio que se toma en el cuanto

a estos grados de toxicidad pues diferentes especialistas difieren en valoración. Este criterio objetivo puede venir dado, en caso de duda, gracias al aumento de temperatura respecto de la visita anterior o de la basal ya que podemos observar cierta tendencia en los pacientes tratados.

Las gráficas obtenidas (Figuras 6 a 8) permitieron visualizar de forma dinámica la evolución de la temperatura en las diferentes zonas anatómicas evaluadas con respecto a zonas contralaterales. Por ejemplo, la Figura 6 ilustra el seguimiento térmico en el cuello, mostrando cierta relación en el aumento de temperatura en ambos lados del cuello. Se aprecia un incremento pronunciado en la segunda visita, lo que coincide con la fase media del tratamiento, este pico térmico es indicativo de una respuesta inflamatoria local, que en muchos casos precede a manifestaciones clínicas más evidentes de la radiodermatitis. La subsecuente disminución de la temperatura en las visitas 3 y 4 sugiere la posible acción de mecanismos de reparación o la eficacia de medidas protectoras, como la aplicación de cremas específica que se está evaluando.

La Figura 7 muestra el seguimiento térmico en las zonas supraclaviculares. Aquí, la tendencia es similar a la observada en el cuello, aunque con ciertas particularidades: se registra una mayor variabilidad en los valores de temperatura, esto en parte es debido a que la zona supraclavicular es más difícil de ubicar en la imagen termográfica y en algunos casos esta área ha sido recortado porque se ha adquirido la termografía con un interés más en la cara.

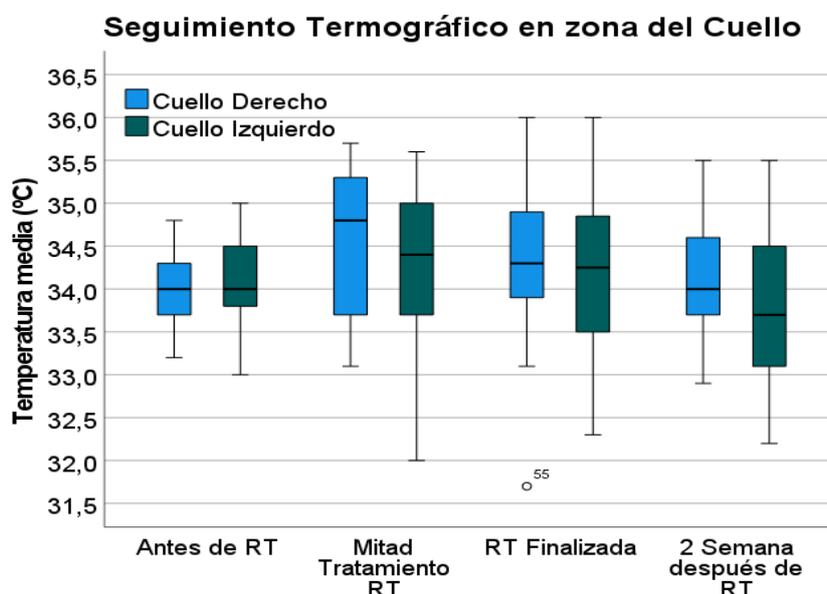


Figura 6. Seguimiento de la temperatura a lo largo del tratamiento de las zonas radiadas del cuello.

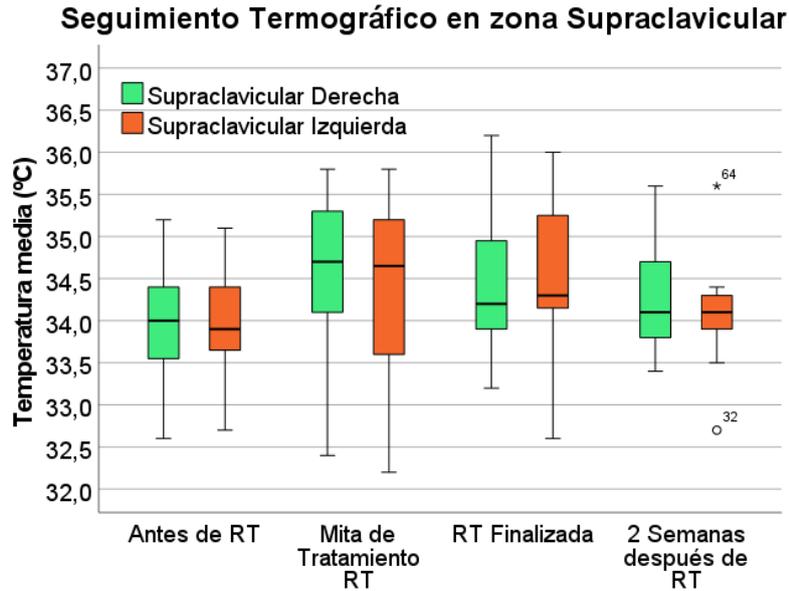


Figura 7. Seguimiento de la temperatura a lo largo del tratamiento de las zonas radiadas del supraclavicular.

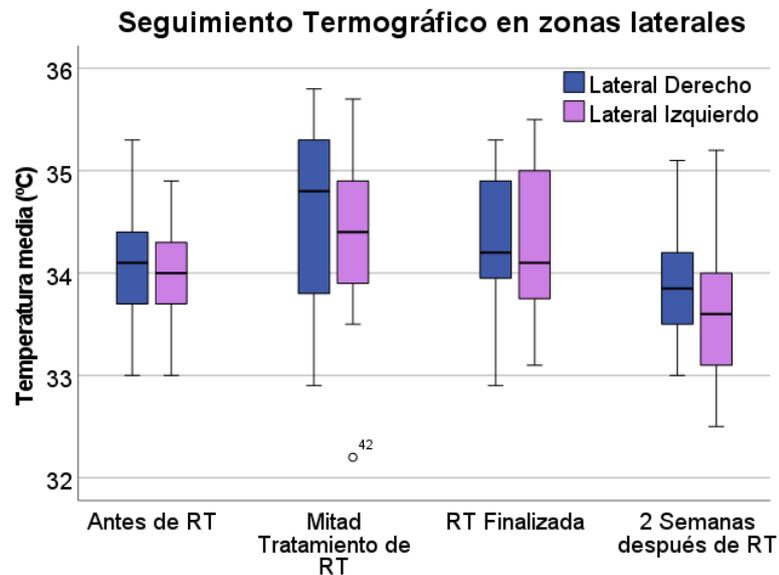


Figura 8. Seguimiento de la temperatura a lo largo del tratamiento de las zonas laterales de la cara.

Las Figuras 9 a 12 aportan un análisis de la evolución del grado de toxicidad cutánea según la escala CTCAE en diferentes zonas (cuello derecho e izquierdo, supraclaviculares derecha e izquierda). Se observa que, en la segunda visita, a pesar de que algunos pacientes muestran temperaturas elevadas, la clasificación clínica puede variar, lo que refuerza la hipótesis de que la termografía ofrece una medida más objetiva y sensible.

Los puntos que más se van de la media vienen dados por anomalías anotadas y que se han tenido en cuenta. Por ejemplo, la más llamativa en la Figura 9 (nº 55 en las gráficas) viene dada por el respirador de un paciente que enfriaba la zona de la cara y las medidas en torno a este paciente se vieron bastante afectadas, sobre todo en la visita 3.

Se observa en la figura 12 que en la segunda visita (Mitad de tratamiento) el grado 2 de toxicidad se corresponde con una media de temperatura muy baja, esto se debe a que en nuestra reducida muestra de pacientes solo tuvimos dos casos en los que la supraclavicular izquierda mostraba un grado de toxicidad en dermatitis de 2, uno con una temperatura bastante reducida y otro con una temperatura más elevada que para el grado 1, por lo que podríamos descartar ese bloque a falta de más medidas.

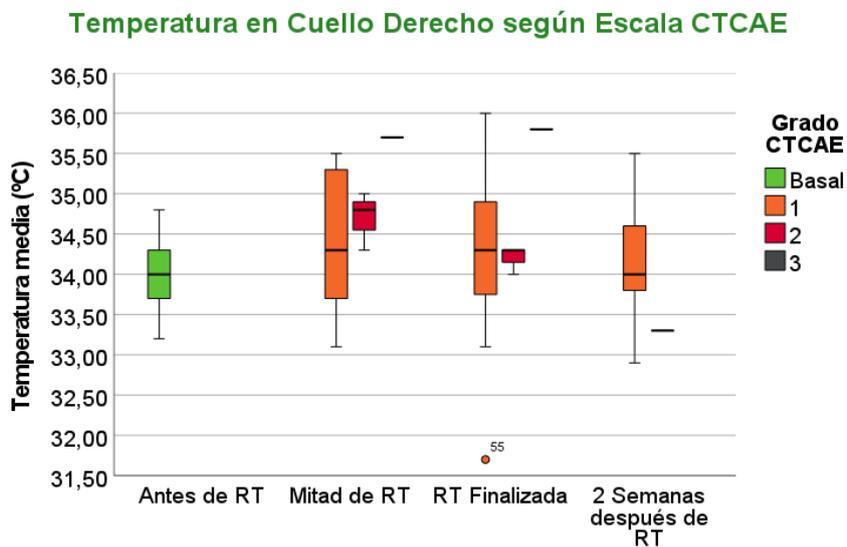


Figura 9. Seguimiento del grado de toxicidad registrado en el cuello derecho.

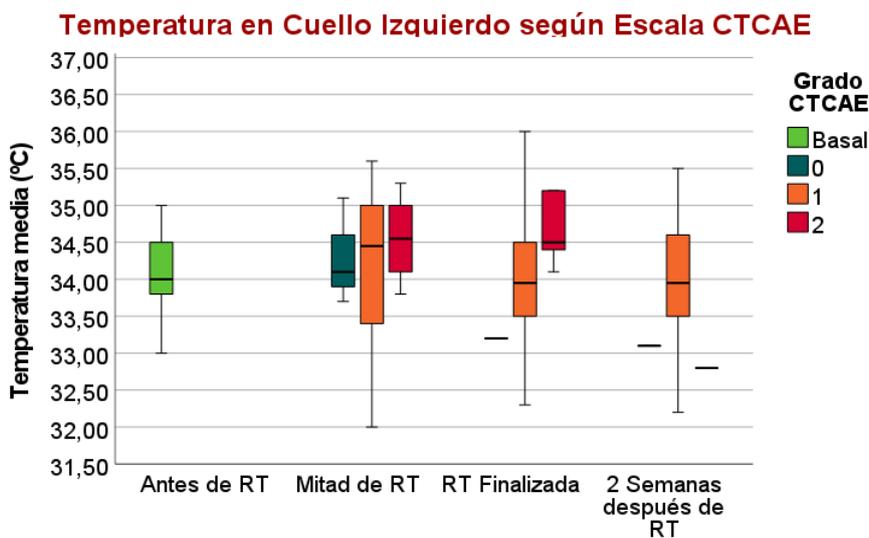


Figura 10. Seguimiento del grado de toxicidad registrado en el cuello izquierdo

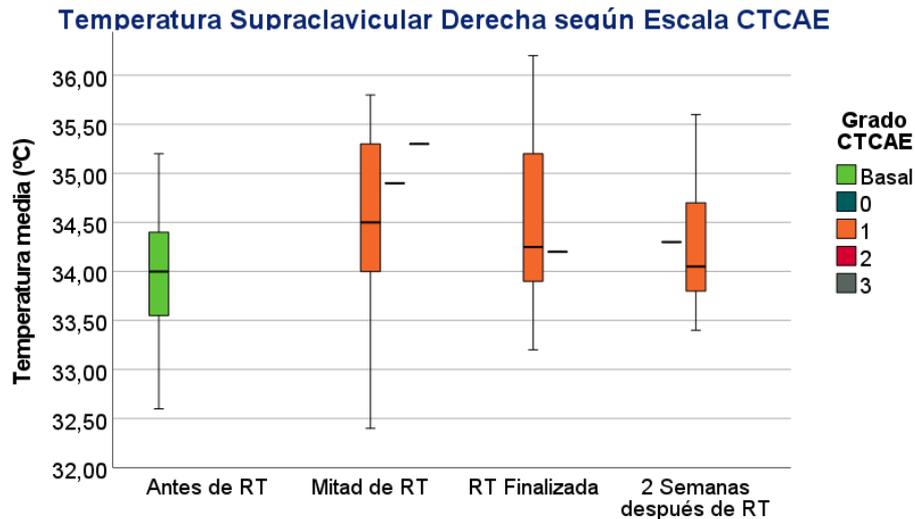


Figura 11. Seguimiento del grado de toxicidad registrado en la supraclavicular derecha.

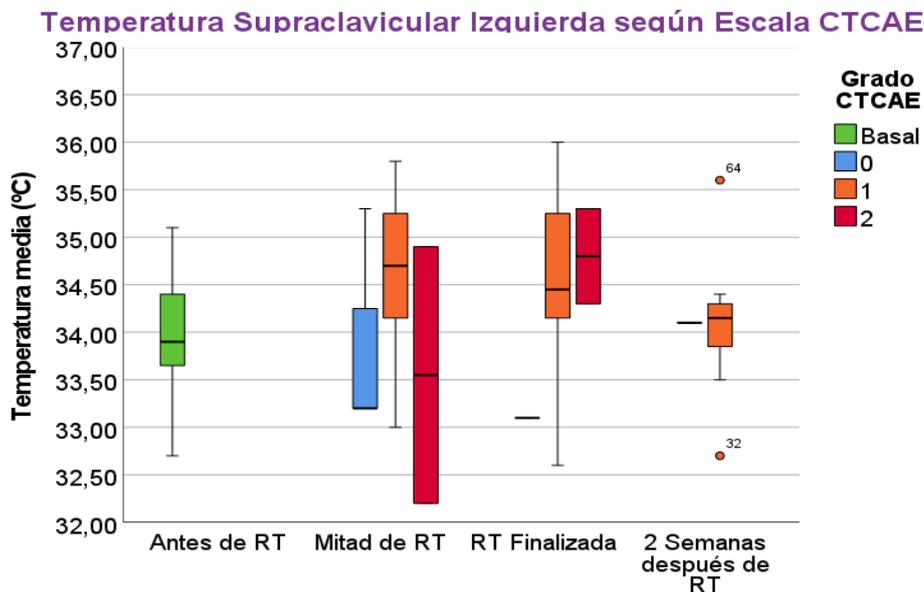


Figura 12. Seguimiento del grado de toxicidad registrado en la supraclavicular izquierda.

CONCLUSIONES

La termografía permite una monitorización continua y objetiva de las alteraciones térmicas inducidas por la radioterapia, se han visto ciertos patrones entre la temperatura de las zonas radiadas a lo largo de las visitas que se realizan, no obstante, en cuanto a los grados de toxicidad observados vemos que hay más variabilidad en torno a las temperaturas medidas lo cual nos indica, de nuevo, que necesitamos una forma de cuantificar objetivamente estos grados. Por tal de llegar a saber con qué parámetro sería óptimo cuantificar el grado de toxicidad, necesitaríamos una muestra mayor de pacientes y que las medidas tomadas sigan el mismo protocolo para todo paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Instituto Nacional del Cáncer. Cáncer de cabeza y cuello: Información general [Internet]. Bethesda, MD: Instituto Nacional del Cáncer; [fecha desconocida] [citado 10 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.cancer.gov/espanol/tipos/cabeza-cuello/hoja-informativa-cabeza-cuello>
2. Halperin EC, Wazer DE, Perez CA, Brady LW, editores. Perez and Brady's Principles and Practice of Radiation Oncology. 6ª ed. Filadelfia: Lippincott Williams & Wilkins; 2013.
3. Machtay M, Moughan J, Trotti A, Garden AS, Weber RS, Cooper JS, et al. Factors associated with severe late toxicity after concurrent chemoradiation for locally advanced head and neck cancer: an RTOG analysis. *J Clin Oncol*. 2008;26(21):3582-9. <https://doi.org/10.1200/JCO.2007.14.8841>
4. National Cancer Institute. Common Terminology Criteria for Adverse Events (CTCAE) Version 5.0. Bethesda, MD: U.S. Department of Health and Human Services; 2017. [Citado el 10 de febrero de 2025] Disponible en: https://ctep.cancer.gov/protocoldevelopment/electronic_applications/docs/CTCAE_v5_Quick_Reference_5x7.pdf
5. Yamazaki H, Yoshida K, Kobayashi K, Tsubokura T, Kodani N, Aibe N, et al. Assessment of radiation dermatitis using objective analysis for patients with breast cancer treated with breast-conserving therapy: influence of body weight. *Jpn J Radiol*. 2012;30(6):486-491. <https://doi.org/10.1007/s11604-012-0073-8>
6. Huang CJ, Hou MF, Luo KH, Wei SY, Huang MY, Su SJ, et al. RTOG, CTCAE and WHO criteria for acute radiation dermatitis correlate with cutaneous blood flow measurements. *Breast*. 2015;24(3):230-236. <https://doi.org/10.1016/j.breast.2015.01.008>
7. Miller SJ, et al. Limitations in the clinical evaluation of radiodermatitis using subjective scales. *Int J Radiat Oncol Biol Phys*. 2015;93(3):628-634
8. Ring EFJ, Ammer K. Infrared thermal imaging in medicine. *Physiol Meas*. 2012;33(3):R33-R46. <https://doi.org/10.1088/0967-3334/33/3/R33>
9. Zhu W, Jia L, Chen G, Li X, Meng X, Xing L, Zhao H. Relationships between the changes of skin temperature and radiation skin injury. *Int J Hyperthermia*. 2019;36(1):1160-1167. <https://doi.org/10.1080/02656736.2019.1685685>
10. Cardozo AS, Simões FV, Santos VO, Portela LF, Silva RC. Severe radiodermatitis and risk factors associated in head and neck cancer patients. *Texto Contexto Enferm*. 2020;29:e20180343. <https://doi.org/10.1590/1980-265X-TCE-2018-0343>

AGRADECIMIENTOS

Conselleria de Educació, Universidades y Empleo (GVA), grant CIPROM/2021/64

RESIDENT DEBIL: UNA EXPERIENCIA DE GAMIFICACIÓN INMERSIVA 3D PARA RESIDENTES DE RADIODIAGNÓSTICO

Pedro Aguado Linares^{1,2}, Marina Rodríguez Yanes², Paula Galván Vázquez², Francisco Sendra Portero³
¹Universidad de Málaga, Andalucía Tech, Facultad de Medicina, Campus de Teatinos s/n, 29071 Málaga, España; ²Servicio de Radiodiagnóstico, Hospital Universitario Virgen Macarena. Sevilla. España
³Dpto. de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Málaga
pedro.aguado15@gmail.com; marinarodriguez2c@gmail.com; paulagalvanvazquez@gmail.com; sendra@uma.es

RESUMEN

Se diseñó un juego denominado Resident Debil en el mundo virtual Second Life para la formación radiológica en postgrado, con el mismo formato que el juego de pregrado League of Rays. Se organizó en 6 semanas, dedicadas a radiología torácica, musculoesquelética, neurorradiología, abdominal, mamaria y de urgencias. Cada semana, los participantes disponían de 4 días para revisar los contenidos educativos y 3 días para realizar test individuales y por equipos. Al finalizar, completaron una encuesta de satisfacción y un test de conocimiento post-exposición. Participaron 68 residentes, en equipos de cuatro, procedentes de diversos hospitales españoles. El 53% (36) completó el cuestionario. En la evaluación de la experiencia sobre 10 puntos, destacaron los profesores ($9,20 \pm 1,18$), los contenidos educativos ($8,63 \pm 1,40$) y la organización del proyecto ($8,54 \pm 1,67$). Los resultados fueron positivos en términos de aprendizaje y satisfacción, aunque hubo baja participación debido al abandono. Todo ello, nos anima a repetir el juego con una versión mejorada y una mayor participación próximamente.

INTRODUCCIÓN

Las actividades de gamificación incorporan principios del diseño y elementos de los juegos a una competición cooperativa, enriqueciendo globalmente la experiencia. Su uso se ha diversificado en varios ámbitos de conocimiento tales como la educación, las ciencias sociales, la salud y la tecnología ¹. Su aplicación en actividades educativas suscita gran interés, pues aumenta el compromiso del alumno con el aprendizaje, debido a que los juegos educativos son considerados divertidos e intrínsecamente motivadores ^{2,3}. El objetivo de la gamificación es fomentar la participación del usuario y mejorar resultados concretos como la actividad, la interacción social, la productividad o el aprendizaje ⁴. En Radiología estas actividades se pueden realizar tanto en entornos reales (conferencias, seminarios, grupos de

trabajo, sesiones de casos, exámenes...) como en modalidades virtuales, incluido el metaverso, cuyo potencial docente está siendo explorado [juegos sociales, la Liga de Rayos (*League of Rays*) o incluso un Examen Clínico Objetivo Estructurado (ECO-E)^{5,6,7,8,9,10,11,12}.

Un mundo virtual es un espacio tridimensional reproducido en una pantalla de ordenador, donde los usuarios, por medio de representaciones de sí mismos llamados avatares, pueden moverse, interactuar y comunicarse con otros^{13,14}. Existe un gran interés en el uso de los mundos virtuales para la educación, ya que proporcionan una comunicación “cara a cara” realista entre los avatares¹⁵ y facilitan formas productivas de aprendizaje colaborativo^{16,17}. Los mundos virtuales proporcionan plataformas interesantes para la gamificación, porque la inmersión del usuario en el entorno tridimensional con su avatar es una especie de juego en sí mismo. **Second Life**® está considerado el mundo virtual más popular entre los educadores y el más ampliamente utilizado en la enseñanza superior y en la formación de profesionales sanitarios¹⁸. Fue creado en 2003 por Linden Research inc. (San Francisco) para ser diseñado y mantenido por sus propios usuarios. Acceder es gratuito, primero, hay que inscribirse en www.secondlife.com y después elegir nombre de usuario, contraseña y un modelo de avatar para poder empezar a conectarse. Para visualizar Second Life® hay que descargarse un visor en <http://secondlife.Com/support/downloads/>. Funciona como una gran red social con millones de cuentas y miles de sitios virtuales, la mayoría en forma de islas.

En 2011, una isla virtual llamada “**The Medical Master Island**” fue adquirida por la Universidad de Málaga (España) para desarrollar actividades educativas innovadoras en Radiología. En 2015 se realizó por primera vez un juego competitivo multijugador online en Second Life® en el que participaron 90 estudiantes voluntarios de tercer curso de medicina¹⁹. El juego denominado “**League of Rays**” se desarrolló en una isla virtual durante 6 semanas, con seis bloques semanales sobre anatomía y semiología de radiología torácica, abdominal y musculoesquelética. Los participantes debían visualizar contenidos educativos durante los primeros 4 días y realizar un test de 15 preguntas los 3 días restantes, clasificándose en función de los puntos adquiridos. En 2016 y 2017 participaron de forma obligatoria 191 y 182 estudiantes respectivamente^{20,21}. El juego fue muy bien valorado por los estudiantes, demostrando ser una buena actividad de refuerzo para la formación reglada de radiología, aunque en las experiencias obligatorias las valoraciones fueron algo inferiores, probablemente por la participación de un sector de alumnos menos motivado. Posteriormente, se modificaron las reglas para que compitieran equipos de 4 estudiantes, fomentando el aprendizaje colaborativo^{22,23}. Entre 2020 y 2022 se han realizado tres competiciones interuniversitarias, en las que se inscribieron 652 estudiantes, y finalizaron la

competición 516 estudiantes (129 equipos) de 21 universidades españolas. En las sucesivas ediciones realizadas se ha valorado muy positivamente el contenido, la organización y la utilidad para su formación como médicos^{19,20,21,24}.

HIPÓTESIS

La hipótesis es que utilizando como base el juego League of Rays, se puede realizar una competición cooperativa en un juego de aprendizaje de postgrado adaptando el nivel y los objetivos de aprendizaje a los residentes de Radiodiagnóstico, evaluando el trabajo en equipo y la cooperación intra- e inter-equipos, produciendo resultados de aprendizaje positivos mensurables.

OBJETIVO

El objetivo de esta experiencia es explorar la participación de los equipos, así como evaluar la percepción de los residentes, su impacto en el aprendizaje y la correlación final de los resultados del juego con un test post-exposición.

METODOLOGÍA

EL ENTORNO VIRTUAL

La isla virtual “**The Medical Master Island**”, dentro del mundo virtual Second Life®, está conformada por un campus universitario que alberga varios edificios con instalaciones para impartir docencia y un entorno de mundo abierto donde se pueden encontrar una explanada central con monitores con presentaciones creadas a partir de PowerPoint®, banderas, iconos, rodeada por bosques, caminos, y adornada con plataformas suspendidas en el aire y mundos submarinos. Todo esto se usa para darle un aspecto atractivo y lúdico a las actividades educativas que tienen lugar en este entorno virtual.

PARTICIPANTES

En marzo de 2024, el juego fue anunciado por distintos medios de comunicación como una actividad online gratuita voluntaria para residentes de todos los años, aunque enfocada en residentes de primer y segundo año. Los residentes fueron contactando con una dirección de correo facilitada por la organización del juego. Tuvieron que inscribirse en equipos de 4, eligiendo entre ellos el nombre, color y logo del equipo. Asimismo, debieron designar roles para cada uno: capitán, embajador, cazador y artillero. Varios archivos PDF fueron enviados

con instrucciones sobre cómo registrarse y abrir una cuenta en Second Life junto con las reglas de juego.

ESTRUCTURA Y ORGANIZACIÓN DEL JUEGO

El juego competitivo se denominó Resident Debil, y tuvo lugar desde el 1 de abril al 12 de mayo de 2024, organizado en 6 semanas con 6 bloques temáticos de lunes a domingo. Cada una de ellas estaba dedicada a un órgano-sistema: tórax, músculoesquelético, neuro, abdomen, mama y urgencias. Durante los 4 primeros días de cada semana, los contenidos educativos, elaborados a partir de recursos online con derechos de autor Creative Commons, fueron presentados en un juego de 3 paneles (trípticos) con 150 diapositivas autoexplicativas en total. Cada semana, 6 juegos de paneles fueron dispuestos en la explanada central de la isla, disponibles 24 horas al día para los participantes (Figura 1) con contenidos educativos diversos (Tabla I). De forma paralela, se pidió a los embajadores de cada equipo que establecieran una alianza con un equipo distinto antes del jueves de cada semana, a excepción de la última, en la cual podían repetir una alianza previa.

En la tarde de cada jueves, los paneles educativos se reemplazaban por paneles individuales con 15 preguntas multirrespuesta. De una base de datos de 30 preguntas de cada bloque temático, se elaboraron 12 variantes de test, de manera que cada pregunta apareciera en 6 variantes de test. Cada semana, se asignaba a cada participante una variante de test, quien tenía que responder por medio de un cuestionario de Google. Las respuestas correctas sumaban 1 punto y las incorrectas restaban 0,25, las respuestas en blanco no puntuaban. Los equipos, ordenados por la media ponderada de las puntuaciones de sus miembros, recibían un máximo de 10 puntos. Los puntos acumulados por cada equipo determinaron la clasificación después de cada semana. En este mismo periodo (de la noche del jueves a la del domingo) se establecieron pruebas por equipos donde los participantes debían colaborar para resolver 20 casos radiológicos sobre cada uno de los bloques temáticos (Figura 2). Las pruebas se disponían dentro de un edificio llamado Medical Master Conference Center. El capitán debía responder en nombre del equipo al formulario de Google correspondiente. Al ser preguntas de desarrollo, se tenían en cuenta 0,25 puntos por la descripción de los hallazgos radiológicos y otros 0,25 puntos por cada aproximación diagnóstica para cada caso. No se puntuaba negativamente las respuestas, tan solo se podía dejar en blanco u obtener un 0 como puntuación. La suma de puntos de cada equipo se normalizó a 10 puntos.

TABLA I. CONTENIDOS DE LAS PRESENTACIONES SEMANALES DE RESIDENT DEBIL

Semanas	Contenidos
Radiología torácica	<ul style="list-style-type: none"> ● Técnicas radiológicas (RX, TC) ● Patrones radiológicos (alveolar, intersticial, nódulo y masa, lesiones cavitadas; lesiones pleurales y extrapleurales, atelectasia, lesiones mediastínicas, EPOC-enfisema) ● Variantes de la normalidad
Radiología musculoesquelética	<ul style="list-style-type: none"> ● Principios básicos y técnicas de imagen (RX, ECO, TC, RM) ● Lesiones óseas localizadas (densidad, localización, variables de predicción) ● Fracturas (signos, proyecciones, clasificaciones) ● Artrosis y artritis (diagnóstico diferencial) ● Tumores óseos (criterios radiológicos) ● Masas de partes blandas
Neurorradío-logía	<ul style="list-style-type: none"> ● Técnicas de imagen, anatomía radiológica, semiología general e indicaciones ● Enfermedad vascular cerebral. Malformaciones vasculares ● Diagnóstico no invasivo de los TSA (Doppler, angioTC/RM) ● Tumores del SNC ● Esclerosis múltiple y variantes. ● Epilepsia e Hidrocefalia (displasia cortical, esclerosis temporal mesial, hidrocefalia, malformación Dandy-Walker) ● Infecciones del SNC (meningitis, absceso, ventriculitis, empiema, encefalitis, inmunosupresión) ● Demencias (Alzheimer, demencia vascular) ● La región selar y paraselar (silla turca vacía, adenomas, apoplejía hipofisaria, craneofaringioma) ● Radiología del tiroides (enfermedades difusas, nódulos) ● La órbita y las vías ópticas (retinoblastoma) ● Oído (colesteatoma)
Radiología abdominal	<ul style="list-style-type: none"> ● Técnicas de imagen (RX, ECO, TC, RM) ● Patología hepática (hemangioma, HNF, adenoma, HCC, MTS, esteatosis, cirrosis, hemocromatosis) ● Vía biliar (litiasis, colangitis esclerosante primaria, Caroli, quistes colédoco, colangiocarcinoma, carcinoma vesícula) ● Páncreas (neoplasias quísticas, carcinoma pancreático, pancreatitis aguda-crónica y complicaciones) ● Enfermedad inflamatoria intestinal (colitis ulcerosa, Crohn) ● Glándulas suprarrenales (adenoma, MTS, mielolipoma, feocromocitoma, carcinoma suprarrenal) ● Patología renal (ERC, lesiones sólidas y quísticas) ● Próstata (hiperplasia benigna, cáncer de próstata y prostatitis)
Radiología mamaria	<ul style="list-style-type: none"> ● Técnicas radiológicas (Mamografía, Mx con contraste, Tomosíntesis, ECO, RM) ● Semiología mamográfica (BI-RADS, Nódulo, microcalcificaciones, Asimetría, Distorsión arquitectural, piel y axila) ● Semiología ecográfica (Ecoestructura, nódulo, calcificaciones, vascularización, ganglios) ● Semiología en RM (tejido fibroglandular, análisis morfológico y dinámico, distancia pezón o pared costal y hallazgos asociados) ● Intervencionismo mamario (Biopsia quirúrgica dirigida, PAAF, BAG, BAV)
Radiología de urgencias	<ul style="list-style-type: none"> ● Urgencias neurorradiológicas (TCE, herniaciones cerebrales, fracturas faciales, código ictus, trombosis venosa central) ● Urgencias torácicas (TEP, patología aórtica aguda, aneurismas aórticos) ● Urgencias abdominopélvicas (obstrucción, perforación e isquemia intestinal, colecistitis aguda, apendicitis aguda, torsión ovárica y torsión testicular)

RX: Radiografía Simple; ECO: Ecografía; TC: Tomografía Computarizada; RM: Resonancia Magnética; TSA: Troncos SupraAórticos; SNC: Sistema Nervioso Central; HNF: Hiperplasia Nodular Focal; HCC: HepatoCarcinoma; MTS: metástasis; ERC: Enfermedad Renal Crónica; BI-RADS: Breast Imaging-Reporting and Data System; PAAF: Punción Aspiración con Aguja Fina; BAG: Biopsia por Aguja Gruesa; BAV: Biopsia Asistida por Vacío; TCE: Traumatismo CraneoEncefálico; TEP: TromboEmbolismo Pulmonar



Figura 1. Captura de pantalla que representa una escena del juego Resident Debil en la que se aprecian dos residentes revisando los contenidos educativos de la segunda semana sobre radiología musculoesquelética en juegos de tres paneles dispuestos en la explanada central de la isla.



Figura 2. Captura de pantalla que representa varios residentes realizando la tarea de equipo dentro del edificio The Medical Master Conference Center con colecciones de 20 casos clínico-radiológicos en la pared, sobre radiología torácica.

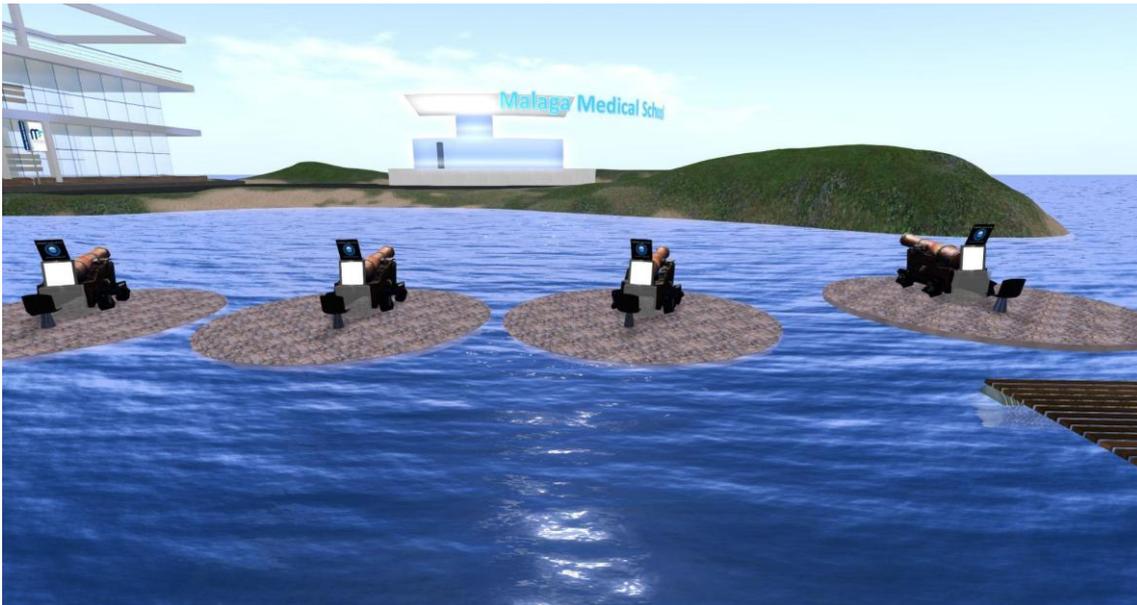


Figura 3. Captura de pantalla que representa una escena del juego Resident Evil en la que se aprecia cañones del test de artilleros en plataformas flotantes en el agua. El monitor de cada cañón muestra una colección de imágenes y preguntas que el artillero debe responder con precisión.

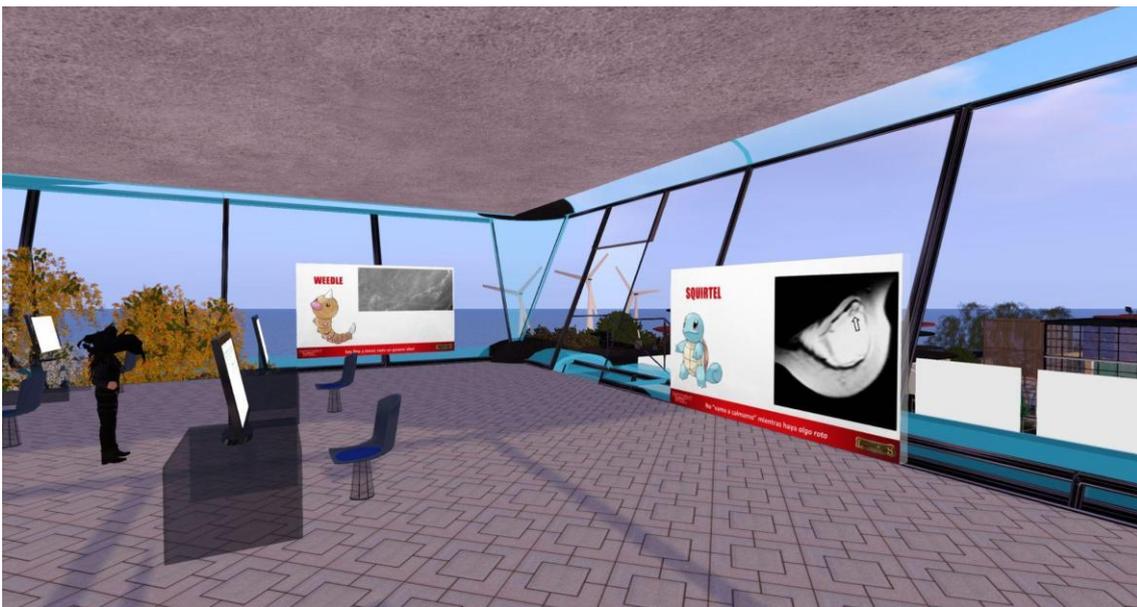


Figura 4. Captura de pantalla que representa una escena del juego Resident Evil en la que se aprecia un residente realizando un test de caza buscando paneles dentro de los edificios. Cada panel contiene con pistas en el pie de imagen sobre un hallazgo o signo radiológico, en esta imagen correspondía a radiología mamaria.

Además, también se dispusieron pruebas de artilleros y de cazadores (Figuras 3 y 4). Las pruebas de artilleros consistían en responder de la forma más precisa y sintética a una serie (A, B o C) de 10 preguntas que estaban en piezas de artillería ubicadas sobre plataformas de distinto color cada semana. Las pruebas de cazadores se basaban en encontrar paneles

dispuestos en varios sitios según la semana y responder a una pregunta de respuesta corta sobre un signo radiológico o una patología asociada a una pista. Los participantes no sabían qué número había cada semana, pero oscilaban entre 15 a 21 preguntas. Ambos, artilleros y cazadores, debían crear una nota respondiendo a las preguntas y enviarla al avatar del juego, llamado *residentdebil*, o escribiendo a la dirección de correo del juego, residentdebil@biznaga.org. Las respuestas correctas sumaban 1 punto, las respuestas en blanco no se tenían en cuenta y cada fallo restaba 0,25 puntos a cada artillero. Finalmente, según la alianza establecida esa semana, se hacía una media de las puntuaciones de los ambos equipos normalizada a 10 puntos.

EVALUACIÓN

Al finalizar la tercera semana y la sexta semana, los participantes respondieron a un cuestionario sobre carga cognitiva en una escala Likert de 9 puntos^{25,26} en las que evaluó el esfuerzo mental que tenían que aplicar para desenvolverse en Second Life, visualizar las presentaciones educativas y realizar los test. Las preguntas fueron idénticas a la de la edición de 2021, sólo que debían responder desde un formulario de Google, mediante su correo electrónico, de 1 a 9, cuánto esfuerzo mental le había costado revisar los contenidos docentes, contestar los test de las tres semanas y desenvolverse en Second Life durante el juego.

La reunión de clausura se hizo en Second Life, concretamente en el auditorio al aire libre, el día 14 de mayo durante una hora. Tras explicar a los presentes la evolución de Resident Debil desde sus inicios y el desarrollo de la edición en curso, se repitió el mismo formato de revisión de preguntas de los test individuales y el test postexposición de la edición 2021. El test consistió en 60 preguntas tipo test aleatorizadas de la misma base de datos empleada en los test individuales, perteneciendo 10 preguntas a cada uno de los 6 bloques temáticos.

Los certificados individuales de participación se enviaron por medio del correo residentdebil@biznaga.org a los residentes que terminaron cada una de las 6 semanas. Mientras que los premios (ejemplar de Radiología Esencial e inscripción gratuita al curso de Radiología musculoesquelética en Granada del 14 de junio de 2024) se enviaron a los ganadores por mensajería externa por cortesía de la Asociación de los Radiólogos del Sur.

El formulario de percepción de la experiencia fue similar al de 2021, incluyendo un nuevo cuestionario sobre carga cognitiva al final de la competición y preguntas en escala Likert²⁷ de 1-5, valoraciones de 1 a 10 puntos y comentarios abiertos.

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se recogieron y se organizaron en hojas de cálculo en las aplicaciones Excel 2024 (Microsoft Inc., Redmond, WA, USA) y en Hojas de Cálculo (Google, Mountain View, CA, USA). Fueron procesados con el paquete estadístico SPSS v24 (IBM Inc., Armonk, NY, USA) para su análisis estadístico. Para medir las diferencias entre los participantes en el test postexposición se utilizó la **prueba de T de Student para muestras apareadas**.

Se analizó la correlación entre las puntuaciones obtenidas por los equipos finalistas y la media de las respuestas que habían dado los equipos en los cuestionarios de percepción usando el **coeficiente de correlación de Pearson** cuando el número de equipos a analizar eran más de 30 y, para el análisis de los subgrupos, el coeficiente de correlación de Spearman. La **prueba U de Mann-Whitney** se utilizó para comparar diferentes grupos de residentes en la escala Likert²⁷ de 5 puntos y en las respuestas de evaluación global de 1 a 10 puntos, ya que son datos ordinales. La significación estadística se estableció con una probabilidad de error $p < 0,05$.

Los comentarios abiertos se analizaron mediante **codificación sistemática por consenso colaborativo**²⁸. Se propuso el marco de codificación jerárquica con dos estratos, utilizado en el estudio previo de 2020¹⁹, con tres códigos como primer nivel (“positivo”, “negativo” y “sugerencia”). El mismo comentario podía contener más de un código o subcódigo. Tras un análisis detallado durante dos reuniones de consenso, se consensuaron subcódigos diferentes en el segundo estrato.

RESULTADOS

PARTICIPACIÓN

Participaron 68 residentes de radiodiagnóstico, siendo la mayoría de primer y segundo año (48,5% y 26,5% respectivamente), con un menor porcentaje de residentes de tercer y cuarto año (13,2% y 11,8% respectivamente). La mayoría de ellos eran mujeres con un 55,9% de representación y el 44,1% de los que participaron eran hombres. Estaban repartidos en 17 equipos de 4 jugadores. Hubo también un equipo mixto con un residente distinto de cada hospital. La Tabla II muestra la participación en cada semana, la Figura 5 muestra la evolución de las puntuaciones semanales por equipo. Durante el transcurso del juego se pudo observar un notorio abandono de los participantes, el cual llegó a alcanzar cifras superiores al 50%, finalizando el juego 8 equipos (32 residentes).

TABLA II. PARTICIPANTES Y PORCENTAJE DE PARTICIPACIÓN SEMANAL EN CADA ETAPA DEL JUEGO RESIDENT DEBIL

	Equipos	Residentes	Participación
Semana 1 Radiología Torácica	15	41	88,0%
Semana 2 Radiología MSK	12	34	70,6%
Semana 3 Neurorradiología	11	34	64,7%
Semana 4 Radiología Abdominal	10	31	58,8%
Semana 5 Radiología Mamaria	8	26	47,1%
Semana 6 Radiología de Urgencias	8	25	47,1%

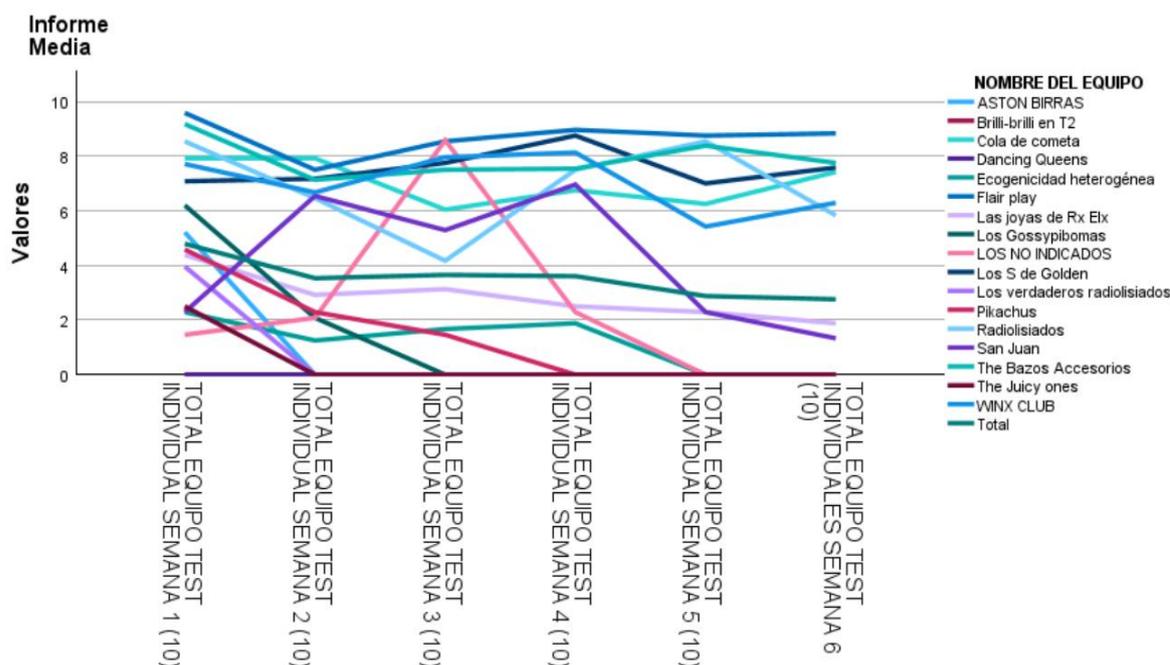


Figura 5. Diagrama de líneas comparativo con el valor de las medias de las puntuaciones individuales semanales de cada equipo a lo largo de la competición, (n = 17). Semana 1: Radiología Torácica, Semana 2: Radiología Musculo-esquelética, Semana 3: Neurorradiología, Semana 4: Radiología abdominal, Semana 5: Radiología mamaria, Semana 6: Radiología de Urgencias.

EVALUACIÓN DEL CONOCIMIENTO POSTEXPOSICIÓN

Un mes después de que acabara el juego, 20 residentes (29,4%), completaron el test de conocimientos postexposición durante 1 hora. Obtuvieron una media de $7,14 \pm 1,22$ puntos sobre 10, una puntuación sin diferencias significativas con la puntuación media de los test individuales del juego ($7,64 \pm 1,22$; $P = 0,140$). Se observaron resultados inferiores en el test postexposición respecto a los test individuales del juego para los subconjuntos de preguntas correspondientes a las semanas 2, de radiología musculo-esquelética ($7,32 \pm 1,83$ vs $8,29 \pm 1,57$; $P = 0,0045$); semana 4 de radiología abdominal ($6,64 \pm 1,96$ vs $7,90 \pm 1,91$; $P = 0,030$); y semana 5, de radiología mamaria ($6,13 \pm 2,00$ vs $7,53 \pm 1,68$; $P = 0,015$). No hubo diferencias significativas en las otras tres semanas. La media de respuestas correctas durante

el juego mostró una moderada correlación con las calificaciones finales en la semana 1 (coeficiente de Pearson = 0,414) y también una correlación moderada con la prueba post-exposición en la semana 2 (coeficiente de Pearson = 0,496).

IMPACTO EN EL APRENDIZAJE

Las preguntas sobre la carga cognitiva al final de la tercera y sexta semanas fueron contestadas por 35 (51,5 %) y 36 (52,9 %) participantes, respectivamente. El esfuerzo mental para desenvolverse en Second Life y para visualizar las presentaciones educativas fue similar al principio y al final de la competición. Los residentes coincidieron en su mayoría en que desenvolverse en Second Life suponía un esfuerzo mental algo alto (6/9); y ni mucho ni esfuerzo mental (5/9) a la hora de visualizar las presentaciones educativas. Sin embargo, el esfuerzo mental para realizar los test fue significativamente menor al final de la competición (del porcentaje que consideraba un alto esfuerzo mental (7/9) al principio, un 25% consideraba un esfuerzo mental algo alto (6/9) al término de la competición).

PERCEPCIÓN DE LA EXPERIENCIA

La mayoría de los participantes (80,6%) desconocía Second Life antes de participar en esta experiencia (Figura 6). Los participantes estuvieron de acuerdo en que el aprendizaje en Second Life era interesante (75,0%), que el entorno de la isla era atractivo (61,1%), que el contenido del juego era apropiado para su formación (88,8%), que habían aprendido radiología (80,6%), que la información fue adecuada (80,6%), el diseño de la competición fue correcto (66,7%) y trabajaron en equipo (61,1%). Cabe destacar que un 52,8% de residentes estaría de acuerdo en participar en otra experiencia en Second Life en los próximos años.

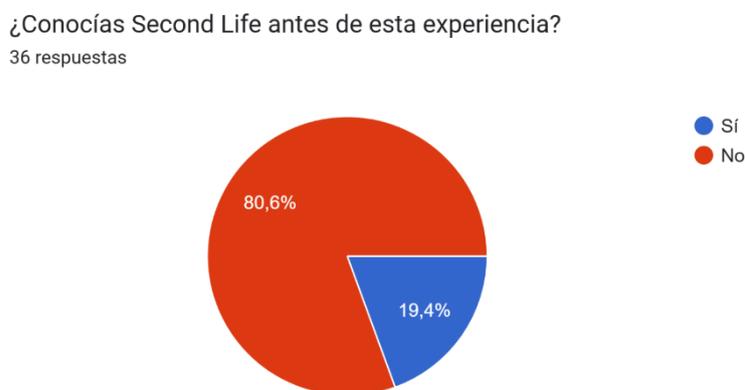


Figura 5: gráfico sectorial con el porcentaje de residentes encuestados sobre la existencia de Second Life (nº de encuestados n = 36).

Se preguntó a los residentes sobre la dificultad de cada bloque temático. Las dos semanas que más dificultad presentaron fueron la semana 5 de radiología mamaria y la semana 3 de neurorradiología (Figura 6).

La valoración de 1 a 10 puntos fue muy positiva, con valores medios superiores a 7 puntos para todos los ítems, excepto para la interacción con otros equipos, las alianzas y la conectividad a Second Life (5 puntos). La organización del proyecto, los contenidos educativos y el profesor recibieron las calificaciones más altas (Tabla III)

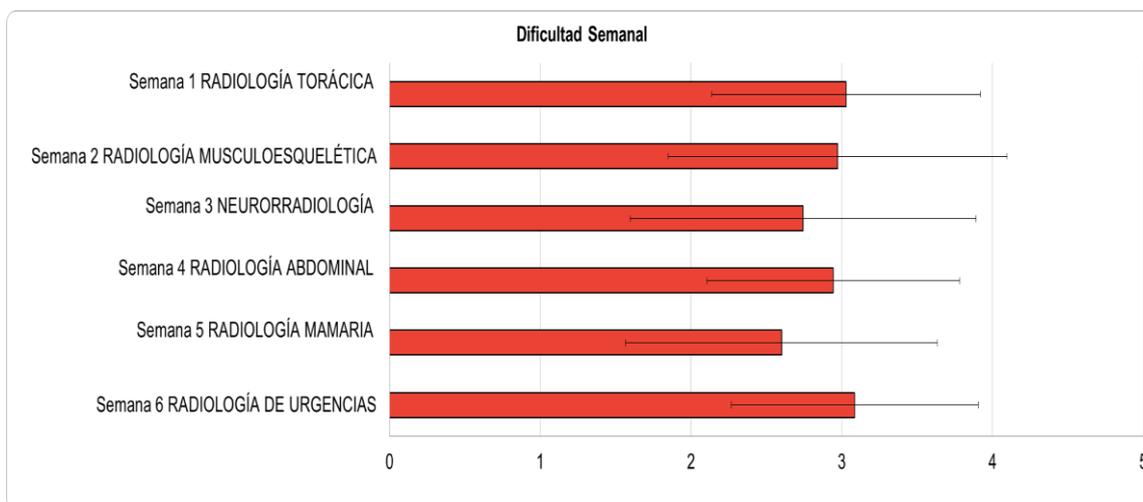


Figura 6: Percepciones de los residentes sobre la dificultad semanal (n = 36) . Las respuestas se informaron en una escala Likert de cinco puntos, donde 1 = muy difícil y 5 = muy fácil. Los indicadores de barras y barras de error representan la media \pm desviación estándar.

TABLA III RESULTADOS EVALUACIÓN GLOBAL DE LA EXPERIENCIA

Ítems	Puntuaciones
La experiencia globalmente	7.60 \pm 1.56
El argumento narrativo del juego	7.57 \pm 1.79
La organización del proyecto	8.54 \pm 1.67
El entorno de la isla	7.09 \pm 1.77
Los contenidos educativos	8.63 \pm 1.40
La utilidad para tu formación	7.71 \pm 1.64
Los profesores/organizadores del juego	9.20 \pm 1.18
La interacción con tus compañeros de equipo	7.51 \pm 2.17
La interacción con otros equipos	5.09 \pm 2.24
Las presentaciones de cada etapa	8.00 \pm 1.59
Las evaluaciones individuales	8.14 \pm 1.63
Las evaluaciones por equipos	7.54 \pm 1.82
Las alianzas entre equipos	5.46 \pm 2.27
Las pruebas de la Caza	6.81 \pm 2.66
Las pruebas de Artillería	7.06 \pm 2.46
La conectividad a Second Life	5.43 \pm 3.28

Los resultados representan la media y la desviación estándar de 36 formularios para cada ítem en una escala del 1 al 10.

Por último, se quiso tener una idea aproximada del **tiempo de dedicación semanal** para visualizar los contenidos y realizar las correspondientes evaluaciones. La media de los tiempos proporcionados para visualizar las **presentaciones educativas** es de aproximadamente 2 horas con una desviación estándar de 1 hora y 20 minutos. Mientras que la media del tiempo de dedicación semanal para realizar los **test semanales** (preguntas tipo test individuales y tareas de equipo) fue de aproximadamente 1 hora y 10 minutos con una desviación estándar de unos 50 minutos.

EVALUACIÓN CUALITATIVA DE LA PERCEPCIÓN

Los participantes incluyeron 27 comentarios abiertos (75%) en los 36 formularios entregados, que fueron codificados y subcodificados en un marco jerárquico de dos capas **Tabla V**. Se codificaron **20 comentarios** como **positivos**, que se subcodificaron en 4 categorías. Algunos participantes incluyeron varios subcódigos positivos simultáneamente en sus comentarios, como, por ejemplo: *“Me he dado cuenta que una competición por equipos me hace aprender mucho más que individualmente ya que para no fallar al equipo estudio más y me trabajo más las preguntas. Me ha gustado mucho vuestro feedback en las tareas, el feedback también motiva mucho a seguir trabajando, cuando me dabais un comentario positivo, me daban más ganas de estudiar y trabajar para la próxima semana. Los contenidos y los casos me han parecido de un nivel excelente, muchas gracias por todo vuestro trabajo.”*

Se etiquetaron **24 comentarios** con códigos **negativos**, que se subcodificaron en 9 categorías. Reflejaron claramente la **penalización** que podían llegar a tener si su equipo o su equipo aliado no participaba, en este sentido, un residente dijo: *“El hecho de tener que hacer alianzas desde el principio perjudicó a la larga cuando tenías que hacerlas con gente que dejó de jugar”*. Sobre esto último, varios participantes remarcaron el cuestionado papel de las alianzas dentro del juego, al no haber cooperado ni interactuado con ningún otro equipo o participante, debido a que varios equipos decidieron dejar de jugar desde el comienzo de la competición, subcodificándose sus comentarios como **desmotivación y abandono**. Esto queda reflejado mediante comentarios transcritos como: *“Me ha faltado que la gente de otros equipos se tome más en serio el juego.”*

Los códigos referentes a **sugerencias** se observaron en 8 comentarios abiertos, subcodificándose en 4 categorías: **evaluaciones**. Un residente sugirió modificar el orden en el que se debía celebrar el juego de esta forma: *“Quizás una fórmula al revés: contenidos educativos durante el fin de semana para el que tenga un hueco vaya mirando, y evaluaciones entre semana para asegurar la completa disponibilidad del equipo nos hubiera gustado más.”*

TABLA IV CODIFICACIÓN JERÁRQUICA DE DOS NIVELES DE LOS COMENTARIOS ABIERTOS PROPORCIONADOS POR LOS PARTICIPANTES DE RESIDENT DEBIL.

Códigos de primer nivel	Códigos de segundo nivel	Frecuencia
Positivos		20
	Aprecio	5
	Gratitud	7
	Utilidad	7
	Compañerismo	1
Negativos		24
	Técnicos	5
	Reglas de juego	1
	Carga cognitiva	2
	Second Life	3
	Cronograma	5
	Dificultad	1
	Abandono	1
	Desmotivación	4
Sugerencias		8
	Evaluaciones	2
	Reglas de juego	2
	Otra Plataforma	1
	Presentaciones	3

DISCUSIÓN

Las ediciones previas de la Liga de Rayos con estudiantes mostraron que la participación mejora el aprendizaje de radiología en el corto plazo ^{19,20,21}. En este estudio, el número de participantes ha sido demasiado bajo para establecer diferencias significativas en los resultados del juego a excepción de las semanas 1 y 2 (radiología torácica y musculoesquelética). El porcentaje medio de aciertos fue bastante alto, superando un 75% en todas las semanas, lo que indica que los residentes han podido aprender durante el juego. Existen diferencias en el nivel de conocimientos de los participantes según el año de residencia en el campo de la radiología mamaria. Del mismo modo, en el formulario sobre la dificultad de los contenidos semanales, existió un consenso general en que la radiología mamaria era la que más dificultad entrañaba. Esto puede ser debido a que es una sección de la radiología que se tiende a impartir en los últimos años de la residencia (R3 y R4). Respecto a la participación, hay que tener en cuenta el abandono y la desmotivación observada durante el desarrollo del juego, aunque la tasa de abandono (53%) está dentro de la observada en las otras competiciones con estudiantes^{19,20,21,24}. Pueden existir múltiples causas que hagan que la gamificación no funcione: problemas técnicos con la plataforma o el equipo, falta de tiempo porque los compañeros de equipo no cumplían sus tareas o abandonar una vez superada la novedad inicial ³⁰. Se trata de una actividad voluntaria y gratuita, por lo que es muy sencillo abandonar si no existe un compromiso por la posible

pérdida económica o la falta de un incentivo formativo. Si bien, analizando el extremo opuesto, se puede interpretar que el nivel de implicación del 47% restante que finalizó el juego ha sido muy alto. Seis de los 8 equipos finalistas mantuvieron puntuaciones elevadas en las semanas consecutivas debido a que sus 4 componentes trabajaron de forma conjunta resolviendo sus tareas con compromiso.

Los residentes valoraron muy positivamente la experiencia poniendo especial foco en los contenidos educativos y afirmaron que aprendieron durante el juego, admitiendo que les resultó muy útil para su formación como especialistas. Sin embargo, quedaron peor valoradas la interacción con otros equipos y las alianzas dentro del juego. Esta limitación podría solucionarse mediante el incremento de la participación de los distintos equipos modificando las reglas para promover acuerdos y compartir las preguntas de artilleros y cazadores entre ellos.

CONCLUSIONES

Se ha llevado a cabo una competición interhospitalaria con el mismo formato que la Liga de Rayos en pregrado. Los resultados han sido en general positivos en términos de aprendizaje y en satisfacción. No obstante, la baja participación debido al abandono ha influido negativamente en la aplicación educativa del juego. Todo ello, nos anima a repetir otra competición con una versión mejorada del juego y con mayor participación próximamente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Seaborn K, Fels DI. Gamification in theory and action: A survey. *Int J Hum Comput Stud.* 2015;74:14–31. <https://doi.org/10.1016/j.ijhcs.2014.09.006>
2. van Roy R, Zaman B. Why Gamification Fails in Education and How to Make It Successful: Introducing Nine Gamification Heuristics Based on Self-Determination Theory. In: Ma M, Oikonomou A, editors. *Serious Games and Edutainment Applications.* Cham: Springer; 2017. p. 485–509. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51645-5_22
3. Dichev C, Dicheva D. Gamifying education: what is known, what is believed and what remains uncertain: a critical review. *Int J Educ Tech High Educ.* 2017;14:1–36. <https://doi.org/10.1186/s41239-017-0042-5>
4. Hamari J, Koivisto J, Sarsa H. Does gamification work? - A literature review of empirical studies on gamification. *Proc 47th Hawaii Int Conf Syst Sci.* 2014. p. 3025–34. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2014.377>
5. Aguado-Linares P, Sendra-Portero F. Gamification: basic concepts and applications in radiology. *Radiología.* 2023;65:122–32. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2022.10.002>

6. Bouthillier M, Canil A, Cheng BYC, Lebel K, Dobson JL. Inaugural Pan-Canadian RADGames: Results from a successful approach to radiology education for medical students. *Acad Radiol*. 2022 Aug 20 [Epub ahead of print]. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2022.07.005>
7. Jambhekar K, Pahls RP, Deloney LA. Benefits of an Escape Room as a Novel Educational Activity for Radiology Residents. *Acad Radiol*. 2020;27:276–83. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2019.04.021>
8. Liu C, Patel R, Ogunjinmi B, Briffa C, Allain-Chapman M, Coffey J, et al. Feasibility of a paediatric radiology escape room for undergraduate education. *Insights Imaging*. 2020;11:1–11. <https://doi.org/10.1186/s13244-020-00856-9>
9. Alonso-Martínez JM, Ravaei S, Lorenzo-Alvarez R, Rudolphi-Solero T, Sendra-Portero F. Juegos sociales para aprender radiología en pregrado dentro de un entorno virtual 3D: trivial y pasapalabra. *SERAM*. 2022. Disponible en: <https://piper.espacio-seram.com/index.php/seram/article/view/8395> [Consultado el 29 de agosto de 2022].
10. Dettmer S, Schneidewind S, Fischer V, Derlin K, Schneider N, Wacker F, et al. Structured chest X-ray imaging training with OSCE examination: Results of a feasibility study and follow-up survey. *Radiologe*. 2020;60:839–49. <https://doi.org/10.1007/s00117-020-00684-4>
11. Staziaki PV, Sarangi R, Parikh UN, Brooks JG, LeBedis CA, Shaffer K. An Objective Structured Clinical Examination for Medical Student Radiology Clerkships: Reproducibility Study. *JMIR Med Educ*. 2020;6:e15444. <https://doi.org/10.2196/15444>
12. Pino-Postigo A, Domínguez-Pinos D, Lorenzo-Alvarez R, Pavía-Molina J, Ruiz-Gómez MJ, Sendra-Portero F. Improving oral presentation skills for radiology residents through clinical session meetings in the virtual world second life. *Int J Environ Res Public Health*. 2023;20:4738.
13. Boulos MNK, Hetherington L, Wheeler S. Second Life: an overview of the potential of 3-D virtual worlds in medical and health education. *Health Info Libr J*. 2007;24:233–45. <https://doi.org/10.1111/j.1471-1842.2007.00733.x>
14. Veltman M, Connor K, Honey M, Diener S, Bodily D. Collaborative practice through simulations in a multiuser virtual environment. *CIN Comput Inform Nurs*. 2012;30:63–7. <https://doi.org/10.1097/NXN.0b013e31824a8b89>
15. Potkonjak V, Gardner M, Callaghan V, Mattila P, Guetl C, Petrović VM, et al. Virtual laboratories for education in science, technology, and engineering: A review. *Comput Educ*. 2016;95:309–27. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.02.002>
16. Zuiker SJ. Educational virtual environments as a lens for understanding both precise repeatability and specific variation in learning ecologies. *Br J Educ Technol*. 2012;43:981–92. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2011.01266.x>

17. Olteanu RL, Bîzoi M, Gorghiu G, Suduc AM. Working in the Second Life Environment - A Way for Enhancing Students' Collaboration. *Procedia Soc Behav Sci.* 2014;141:1089–94. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.05.183>
18. Liaw SY, Carpio GAC, Lau Y, Tan SC, Lim WS, Goh PS. Multiuser virtual worlds in healthcare education: A systematic review. *Nurse Educ Today.* 2018;65:136–49. <https://doi.org/10.1016/j.nedt.2018.01.006>
19. Lorenzo-Alvarez R, Rudolphi-Solero T, Ruiz-Gomez MJ, Sendra-Portero F. Game-Based Learning in Virtual Worlds: A Multiuser Online Game for Medical Undergraduate Radiology Education within Second Life. *Anat Sci Educ.* 2020;13:602–17. <https://doi.org/10.1002/ase.1927>
20. Rudolphi-Solero T, Lorenzo-Álvarez R, Ruiz-Gómez MJ, Sendra-Portero F. Impact of compulsory participation of medical students in a multiuser online game to learn radiological anatomy and radiological signs within the virtual world Second Life. *Anat Sci Educ.* 2021 Aug 27 [Epub ahead of print]. <https://doi.org/10.1002/ase.2134>
21. Rudolphi-Solero T, Lorenzo-Alvarez R, Domínguez-Pinos D, Ruiz-Gomez MJ, Sendra-Portero F. A team-based competition for undergraduate medical students to learn radiology within the virtual world Second Life. *Insights Imaging.* 2021;12:89. <https://doi.org/10.1186/s13244-021-01032-3>
22. Gorbanev I, Agudelo-Londoño S, González RA, Cortes A, Pomares A, Delgadillo V, et al. A systematic review of serious games in medical education: quality of evidence and pedagogical strategy. *Med Educ Online.* 2018;23:1438718. <https://doi.org/10.1080/10872981.2018.1438718>
23. Dankbaar M. Serious games and blended learning; effects on performance and motivation in medical education. *Perspect Med Educ.* 2017;6:58–60. <https://doi.org/10.1007/s40037-016-0320-2>
24. Rudolphi-Solero T, Lorenzo-Álvarez R, Domínguez-Pinos D, Ruiz-Gómez MJ, Sendra-Portero F. An interuniversity competition for medical students to learn radiology in the Second Life metaverse. *J Am Coll Radiol.* 2024;21(5):812–21. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2023.09.012>
25. Paas F, van Merriënboer JJG. Instructional control of cognitive load in the training of complex cognitive tasks. *Educ Psychol Rev.* 1994;6:51–71.
26. Paas F, Tuovinen J, Tabbers H, van Gerven PW. Cognitive load measurement as a means to advance cognitive load theory. *Educ Psychol.* 2003;38:63–71.
27. Likert R. A technique for the measurement of attitudes. *Arch Psychol.* 1932;140:5–53.
28. Saldaña J. *The Coding Manual for Qualitative Researchers.* 2nd ed. London, UK: Sage Publications Ltd.; 2013. 303 p.
29. Dah J, Hussin N, Zaini MK, Isaac Helda L, Senanu Ametefe D, Adozuka Aliu A. Gamification is not working: Why? *Games Cult.* 2024;0(0). <https://doi.org/10.1177/15554120241228125>

DOSIS DE RADIACIÓN DE LOS CIRUJANOS PODÓLOGOS QUE UTILIZAN EL INTENSIFICADOR DE IMAGEN EN LAS CONDICIONES DE TRABAJO HABITUAL

Manuel Cobo Najar¹, Amparo Olivares Rueda¹, José Antonio García Gamuz¹, Ana Mercado Días¹, Miguel Alcaraz Baños¹

¹Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina Universidad de Murcia
mj.cobonajar@um.es; amparo.o.r@um.es; gamuz@um.es; anamaria.mercado@um.es; mab@um.es

RESUMEN

La imagen radiológica obtenida con equipos de rayos X, habitualmente con intensificadores de imagen, es un elemento imprescindible en el diagnóstico y tratamiento de la patología quirúrgica en podología. Esta necesidad convierte a todo el personal que las utiliza en trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes y, por ello, están obligados a cumplir unos requisitos legales que aseguren la ausencia de efectos adversos provocados por el empleo de las radiaciones ionizantes en la práctica clínica. El objetivo de este estudio es comprobar la utilización práctica de las recomendaciones oficiales de protección radiológica en la práctica clínica habitual en instalaciones de cirugía podológica.

Para ello, se ha realizado una encuesta a los miembros de la Asociación Española de Cirugía Mínimamente Incisional y se han visitado 33 clínicas de cirugía podológica públicas y privadas distribuidas por el territorio nacional para confirmar el cumplimiento de las normas de protección radiológica por estos profesionales clínicos en las condiciones habituales de la práctica clínica.

Los resultados obtenidos en la encuesta específica realizada a los miembros de la Asociación Española de Cirugía Mínimamente Incisional se confirma un buen conocimiento de las normas teóricas de protección radiológica y un desconocimiento generalizado de los aspectos técnicos de los equipos de imagen que utilizan en su práctica clínica. Sin embargo, la inspección y determinación de dosis de radiación ionizante determinadas en las clínica de cirugía podológica muestra la utilización inadecuada de la dosimetría personal, la ausencia de conocimiento de las dosis de radiación empleadas, la ausencia de uso de material de protección radiológica personal durante las exposiciones radiológicas y, en algunos casos, la determinación de dosis de

radiación que podrían llegar a superar los límites máximos de dosis permitidas en función de la carga de trabajo realizada. Todo ello, sin haber encontrado ninguna referencia específica sobre estas circunstancias de la cirugía podológica en la literatura científica revisada.

En conclusión, aunque la formación en protección radiológica es adecuada y los conocimientos de los profesionales clínicos son suficientes en términos generales, se ha evidenciado una falta de aplicación de estos conocimientos en la práctica clínica habitual, por lo que los trabajadores profesionalmente expuestos a radiación ionizante están exponiéndose a dosis innecesarias que no pueden determinarse por el uso inadecuado o ausencia de dosimetría personal.

OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar en este estudio son los siguientes:

1. Determinar el nivel de conocimiento teórico y práctico de los profesionales de la cirugía podológica, que son legalmente considerados trabajadores profesionalmente expuestos a radiaciones ionizantes, sobre la utilización de los equipos de fluoroscopia clínica, así como de los efectos lesivos de la radiación y de los diferentes aspectos de la protección radiológica en la práctica clínica.
2. Determinar las dosis de radiación recibidas por los trabajadores profesionalmente expuestos que permita valorar el riesgo para la salud de estos trabajadores como consecuencia de las condiciones de trabajo utilizadas en la clínica quirúrgica habitual.
3. Valorar las condiciones de trabajo de los trabajadores profesionalmente expuestos en cirugía podológica y la utilización de medidas de protección radiológica durante su práctica clínica habitual.

MATERIAL Y MÉTODO

Para alcanzar los objetivos sobre el grado de cumplimiento de las medidas en Protección Radiológica en el ámbito podológico se plantean dos líneas de trabajo diferentes: por un lado, el desarrollo de una encuesta para evaluar la formación en protección radiológica de los cirujanos podólogos; y por otro, la obtención de datos que indiquen el nivel de aplicación de la normativa vigente y de las normas básicas de protección radiológica operacional ⁽¹⁾.

- Se ha confeccionado una encuesta específica dirigida a los profesionales de la podología asociados a la Asociación Española de Cirugía Mínimamente Incisional (AEMIS) que

realizan cirugía mínimamente incisional (MIS) y que son profesionales que utilizan habitualmente el fluoroscopio de rayos X con finalidad de radiodiagnóstico y/o de radiología intervencionista. Antes de la realización de la encuesta, se solicitó permiso al presidente de las asociaciones previamente mencionadas. Esta invitación la realizamos por email, siendo aceptada por parte de las direcciones de las asociaciones implicadas, estableciendo el correo electrónico como medio de envío de la información, así como de la encuesta a realizar. El número de correos electrónicos enviado a los asociados en cuestión fue de 150. La encuesta contiene 29 preguntas. La fiabilidad de la encuesta presenta un coeficiente de confianza α de Cronbach de 0,322. Considerando el trabajo de Avezilla y Lozano (2016) ⁽²⁾ el valor obtenido indica que el instrumento, en su diseño actual, tiene un moderado nivel de fiabilidad ($\alpha < 0.6$).

- Estrategia de búsqueda de referencias bibliográficas. Para la búsqueda de referencias científicas en la literatura científica sobre la utilización de intensificadores de imagen en cirugía podológica hemos revisado las siguientes bases de datos: MEDLINE (vía PubMed), Web of Science, Cochrane Central, EMBASE y SCOPUS; utilizando una combinación de los siguientes títulos de materias médicas: Fluoroscopia, Radiaciones Ionizantes, Monitoreo de Radiación, Exposición a la radiación, efectos de la radiación, Dosis de radiación y Exposición Ocupacional. Los términos de búsqueda se han combinado con filtros específicos en cada base de datos. Al menos dos investigadores han seleccionado los estudios de forma independiente, evaluando primero los títulos y los resúmenes. Posteriormente, se ha evaluado el texto completo de los artículos que cumplen con los criterios de selección.

Se ha evaluado la heterogeneidad entre los resultados mediante una prueba X^2 con un nivel de significación de 0,05. También se evalúa la consistencia de los estudios considerando las estadísticas I^2 . Un valor de 0% a 50% puede indicar una pequeña heterogeneidad, valores de 50% a 75% pueden indicar un nivel moderado, y $> 75\%$ pueden indicar un nivel sustancial de heterogeneidad. El metaanálisis de los estudios incluidos se realiza utilizando un software estadístico (RevMan V.5.4.1). Para evaluar la calidad metodológica de los estudios transversales utilizamos la Checklist for Analytical Cross-Sectional Studies desarrollada por el Joanna Briggs Institute ⁽³⁾. Para los estudios de casos y controles utilizamos la Escala Newcastle- Ottawa (NOS) ⁽⁴⁾. En cuanto a los estudios de cohorte utilizamos la Escala de Riesgo de Sesgo en Estudios No Aleatorizados - de Exposición (ROBINS-E) ⁽⁵⁾. Para calificar la certeza de la evidencia de cada resultado, utilizamos la Escala de Calificación de Recomendaciones, Evaluación, Desarrollo y Evaluaciones (GRADE) ⁽⁶⁾.

- Determinaciones en las instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico podológico.

Se ha planificado un estudio de campo sustentado en la visita e inspección de las instalaciones radiológicas fluorográficas para obtener las distintas variables dosimétricas que permitan evaluar la exposición radiológica operacional a la que se ven expuestos estos profesionales durante la realización de su actividad profesional. Las determinaciones de las dosis de radiación ionizante se han realizado exclusivamente en instalaciones de carácter privado, con al menos un aparato de fluoroscopia para el diagnóstico o tratamiento de patología del pie. Todas las clínicas han sido previamente verificadas por UTPRs, estando legalmente autorizadas como Instalaciones de Rayos X con fines de diagnóstico podológico por el CSN y los órganos autonómicos competentes.

Se ha utilizado, una cámara de ionización presurizada Victoreen 451 P, de Fluke Biomedical (Fluke Corporation-Fluke Ibérica S,L; España, Madrid). Se han determinado las dosis recibidas por el TPE en tórax, genitales, manos, cristalino tanto con materiales de protección que hay en la clínica como determinadas directamente sobre sus ubicaciones anatómicas. Además, se ha determinado la dosis de radiación ambiental y las dosis que alcanzan al TPE en las salas anexas y en la sala de espera

RESULTADOS

Los resultados más significativos emanados de las encuestas de Protección radiológica se muestran en la Figura 1. Los resultados más significativos del metaanálisis realizado se describen en Figura 2. Los resultados obtenidos en las determinaciones de dosis realizadas en la auditorias realizada en las 33 instalaciones inspeccionadas se muestran en las restantes figuras (de la 3 a la 10).

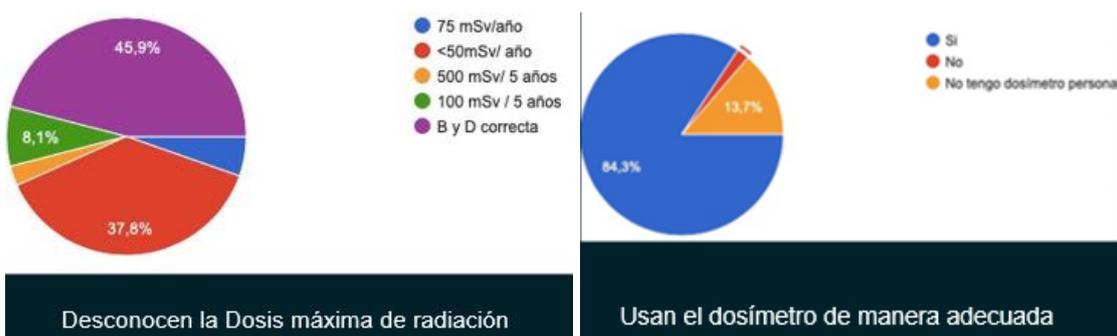
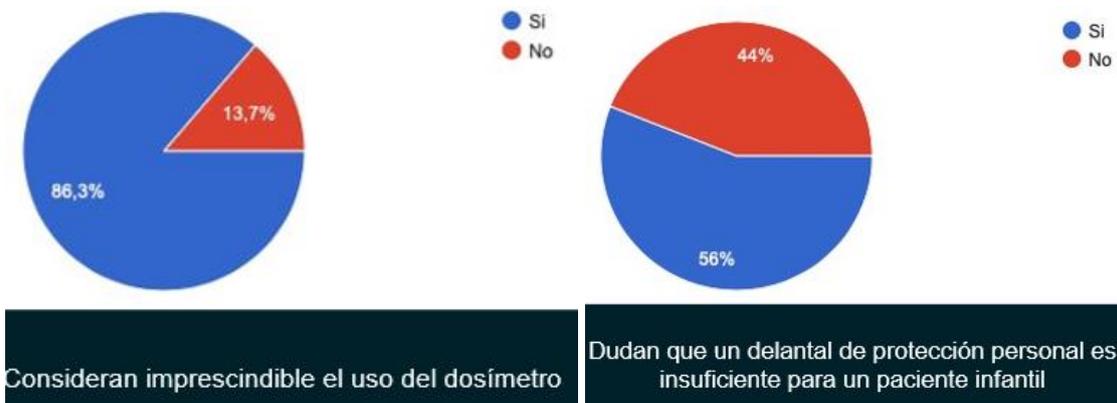


Figura 1. Diagramas sectoriales mostrando los porcentajes de respuestas a las encuestas de Protección Radiológica.

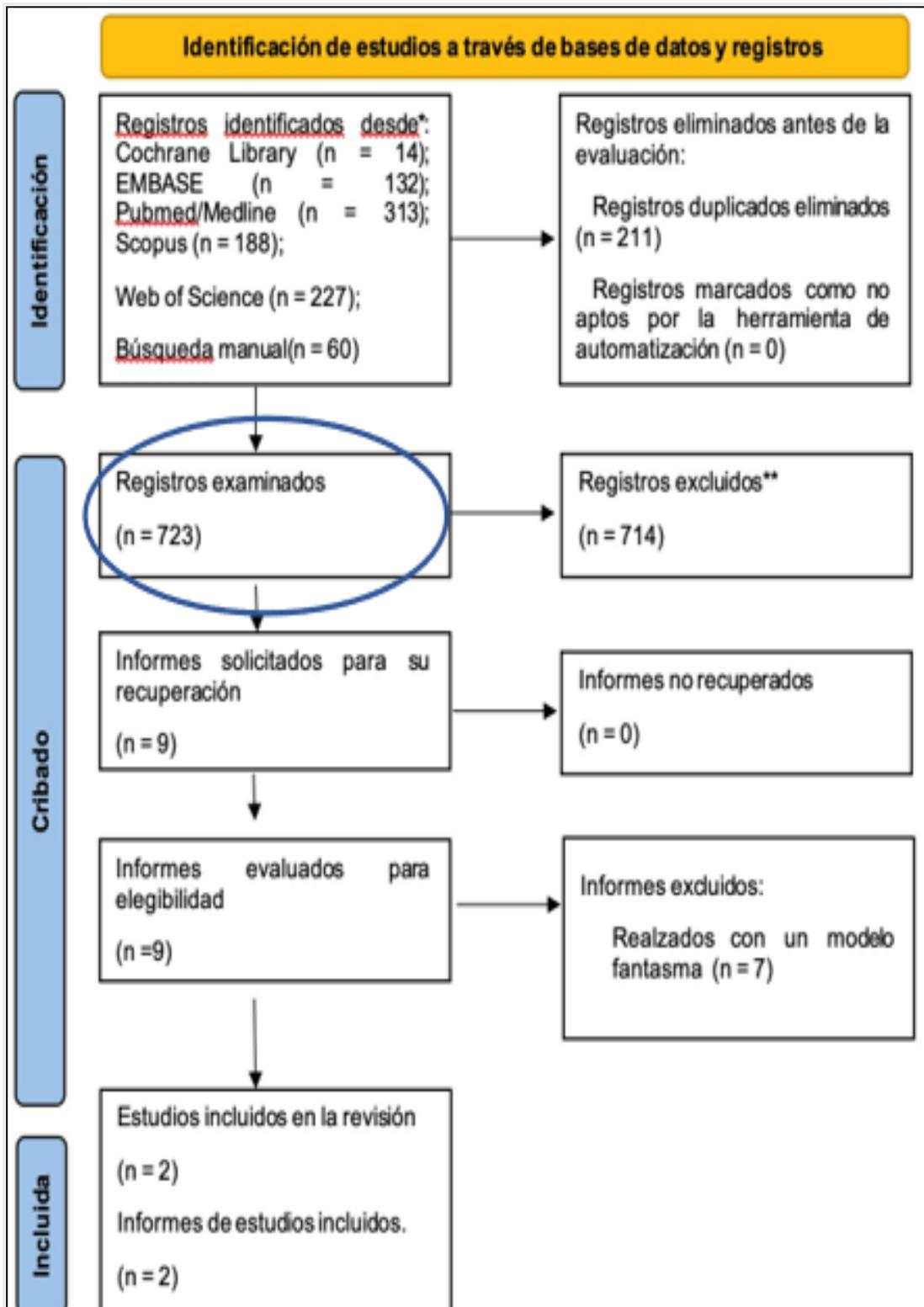


Figura 2. Diagrama de flujo de la búsqueda bibliográfica realizada.

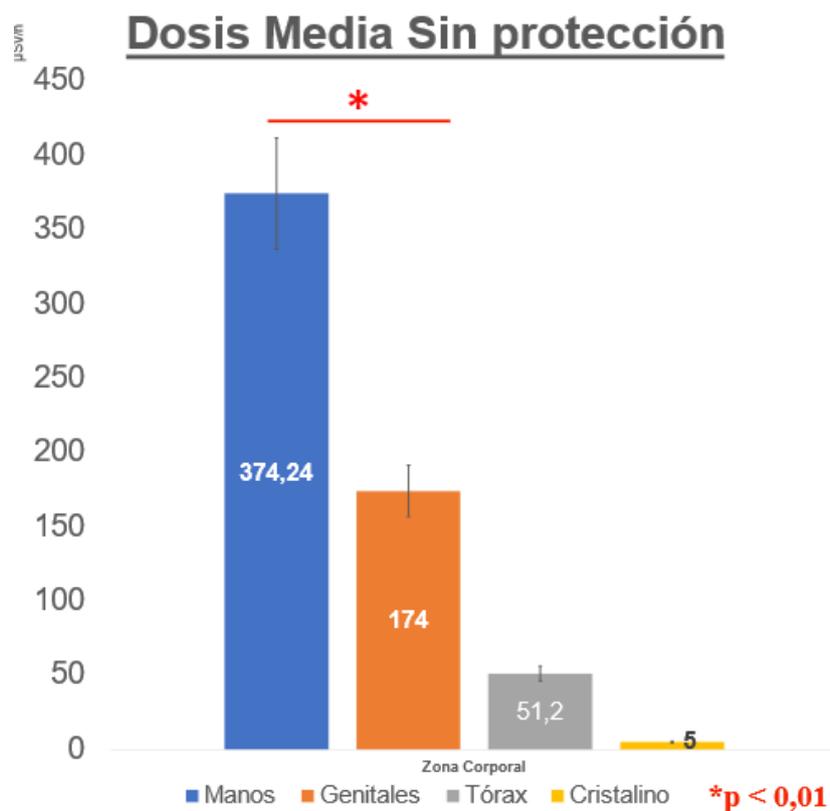


Figura 3. Diagrama de barras mostrando la dosis media alcanzada.

Dosis media determinada (μSv/h) en las condiciones habituales de trabajo en cada instalación podológica

Ubicación del dosímetro	En las condiciones de trabajo	Con material de protección personal
Manos	374±26	----
Zona genital	174±14	0.61±0.04*
Zona torácica	51±3	0.46±0.02*
Zona ocular	5±0.2	----

*p < 0,01

El uso del material de protección reduce entre el 85% y el 94% la exposición a la radiación.

Saurabh y cols., 2019; Fidan y cols., 2019; Lai y cols., 2020; Guyonnet y cols., 2021; Ahmed y cols., 2022; Hurley y cols., 2022

Figura 4. Dosis media en las condiciones de trabajo.

Determinación dosimétrica 32 instalaciones

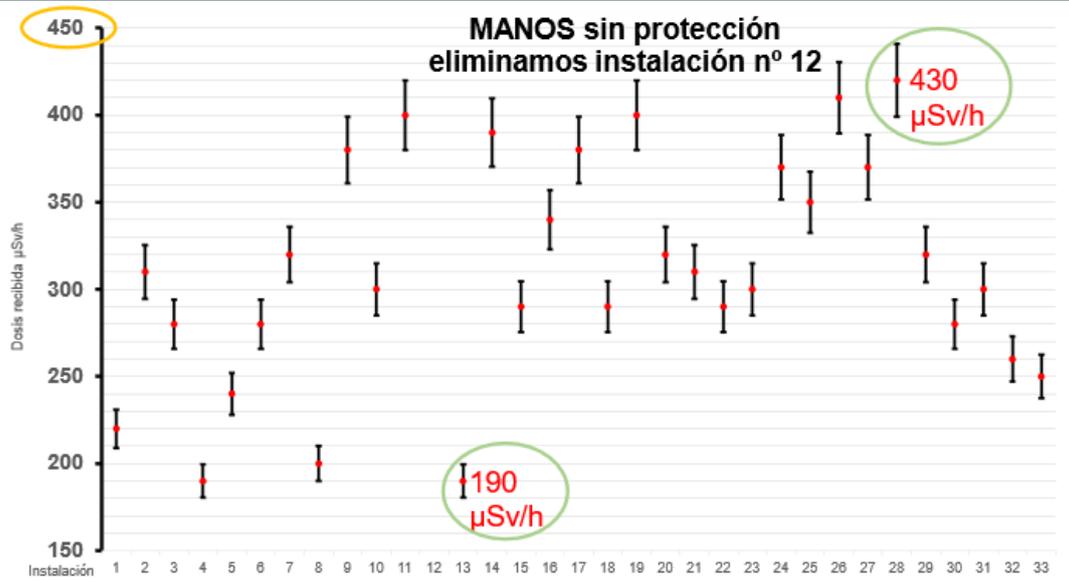


Figura 5. Determinación dosimétrica en manos (sin protección).

Determinación dosimétrica 33 instalaciones



Figura 6. Determinación dosimétrica en genitales (sin protección).

Determinación dosimétrica 33 instalaciones



Figura 7. Determinación dosimétrica en tórax (sin protección).

Determinación dosimétrica 33 instalaciones



Figura 8. Determinación dosimétrica en cristalino (sin protección).

TABLA I. HALLAZGOS RELEVANTES EN LAS 33 INSTALACIONES REVISADAS

Determinaciones de las dosis
El 100% (33/33)
<ul style="list-style-type: none"> - Los dosímetros personales no se usan de manera adecuada - Las lecturas dosimétricas muestran un fondo ambiental - Tienen el material de protección personal - No utiliza de forma adecuada el material de protección - Disminución de la saturación de oxígeno en pulsioximetría.
El 17% (6/33) el material de protección está en malas condiciones
El 6,2% (2/33) de los profesionales que trabajan en la instalación no poseen el título de Operador de Instalaciones Radiológicas

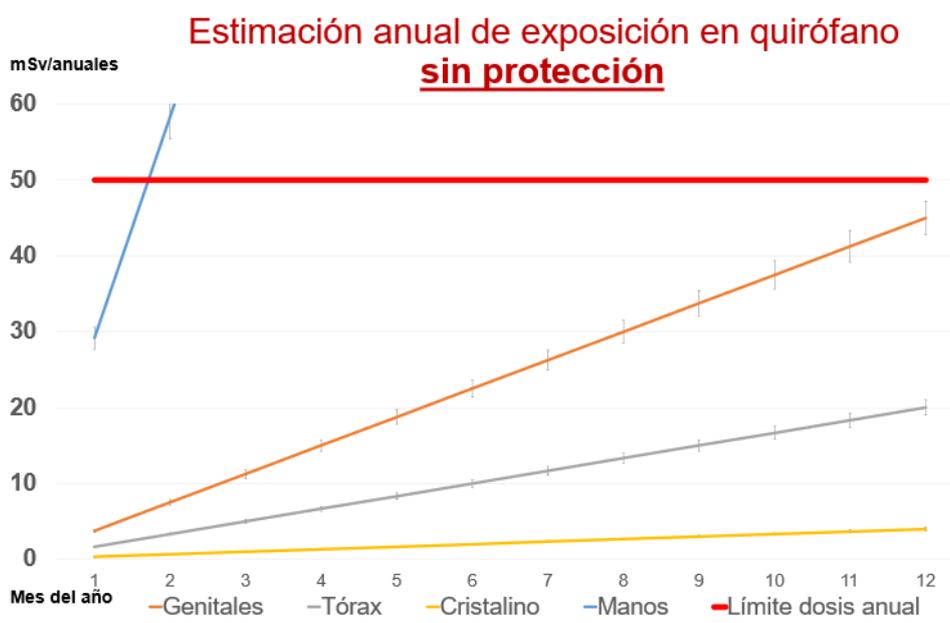


Figura 9. Estimación de exposición anual en el quirófano (sin protección).



Figura 10. Estimación de exposición anual en el quirófano (con protección).

CONCLUSIONES

Las conclusiones que se pueden extraer de esta tesis doctoral son las siguientes:

1. La utilización inadecuada de la dosimetría personal obligatoria muestra unas dosis de radiación personal que no monitoriza la exposición real de estos profesionales. No hemos encontrado referencias en la literatura científica revisada sobre las dosis de radiación determinadas en los trabajadores profesionalmente expuestos en instalaciones de radiodiagnóstico de cirugía podológica.
2. Aunque se cumplen los requerimientos legales para el funcionamiento de una instalación radiológica con fines de diagnóstico podológico, se ha determinado la falta de cumplimiento de las normas básicas de protección radiológica en estas instalaciones, específicamente en la utilización de los materiales de protección y de la dosimetría personal durante la exposición radiológica.
3. Las lecturas dosimétricas oficiales de las instalaciones de radiodiagnóstico podológico que muestran sistemáticamente dosis de fondo ambiental no muestran la exposición real de estos profesionales por la falta de utilización adecuada de los dosímetros personales durante la exposición radiológica. Nuestras determinaciones de las dosis de radiación que pueden recibir los profesionales clínicos durante su trabajo habitual muestran una alta variabilidad dependiendo del fluoroscopio y del tiempo de exposición utilizado.
4. El cirujano podólogo que podría realizar su actividad profesional sin recibir dosis significativas de radiación mediante la utilización de los materiales de protección personal, pueden ser uno de los profesionales más expuestos dentro de las especialistas que utilizan la fluoroscopia como procedimiento clínico.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cobo Najar, M. La protección radiológica en instalaciones de cirugía podológica. Tesis Doctoral. Universidad de Murcia, 2025.
2. Arévalo Avecillas DX, Padilla Lozano CP. Medición de la confiabilidad del aprendizaje del programa RStudio mediante alfa de Cronbach. Rev Politéc. 2016;37(1):68.
Disponible en:
https://revistapolitecnica.epn.edu.ec/ojs2/index.php/revista_politecnica2/article/view/469.
3. Moola S, Munn Z, Tufanaru C, Aromataris E, Sears K, Sfetcu R, Currie M, Lisy K, Qureshi R, Mattis P, Mu P. Systematic reviews of etiology and risk (2020). Aromataris E, Lockwood C, Porritt K, Pilla B, Jordan Z, editors. JBI Manual for Evidence

Synthesis. JBI; 2024. Available from: <https://synthesismanual.jbi.global>.
<https://doi.org/10.46658/JBIMES-24-06>

4. Wells GA, Shea B, O'Connell D, Peterson JE, Welch V, Losos M, et al. The Newcastle-Ottawa Scale (NOS) for assessing the quality of nonrandomized studies in meta-analyses. 2000. Disponible en:
https://www.ohri.ca/Programs/clinical_epidemiology/oxford.asp
5. Higgins JPT, Morgan RL, Rooney AA, Taylor KW, Thayer KA, Silva RA, et al. A tool to assess risk of bias in non-randomized follow-up studies of exposure effects (ROBINS-E). *Environ Int.* 2024;186:108602.
<https://doi.org/10.1016/j.envint.2024.108602>
6. Andrews JC, Schünemann HJ, Oxman AD, Pottie K, Meerpohl JJ, Coello PA, et al. GRADE guidelines: 15. Going from evidence to recommendation—determinants of a recommendation's direction and strength. *J Clin Epidemiol.* 2013;66(7):726-735.
<https://doi.org/10.1016/j.jclinepi.2013.02.003>

ECOERX: EXPERIENCIA DOCENTE DE UNA MINI ECOE VIRTUAL DE RADIOLOGÍA DE URGENCIAS EN EL METAVERSO SECOND LIFE.

Alba Virtudes Pérez Baena^{1,3}, Teodoro Rudolphi Solero³, Dolores Domínguez Pinos^{2,3}, Rocío Lorenzo Álvarez^{3,4}, Francisco Sendra Portero³

¹Hospital Comarcal de Antequera, Antequera. ²Hospital Universitario Virgen de la Victoria, Málaga. ³Facultad de Medicina, Málaga. ⁴Hospital Comarcal de la Axarquía, Vélez-Málaga.

Alba.virtudes7@gmail.com, teorudsol@gmail.com, ddominguezp@uma.es, rociolorenzoalvarez@gmail.com, sendra@uma.es

RESUMEN

Objetivos: Valorar la viabilidad de crear estaciones ECOE de Radiología en Second Life. Analizar su impacto en la formación, evaluando las competencias adquiridas y la percepción de los usuarios, analizando la valoración del feed-back.

Material y Método: Se ha utilizado el rotatorio de Radiología con alumnos de 6º curso dividiéndolos en 7 grupos de 24-28 alumnos. Se diseñaron dos salas ECOE con 6 estaciones cada una, con situación clínica de partida e imágenes radiológicas y 9 minutos por estación.

Resultados: Participaron 163 estudiantes, con calificación media global de $4,98 \pm 1,34$, un 68,8% entregaron un cuestionario de valoración. El profesorado, la organización del proyecto, el entorno ECOE, la utilidad y autoevaluación formativa fueron los ítems más valorados y lo menos, la conectividad a Second Life.

Conclusión: Las ECOE formativas son útiles, reproducibles, coste-efectivas, adaptándose adecuadamente al formato virtual. Second Life es una plataforma virtual interesante y competente para el desarrollo de ECOE virtuales.

INTRODUCCIÓN

El modelo de evaluación ECOE ha demostrado ser útil, sistemático, estructurado, reduce sesgos preexistentes, es coherente, consistente y objetivo, como se ha observado en numerosos estudios donde han mostrado el desarrollo del modelo ECOE presencial de forma detallada y con resultados exitosos^{1,4,7}. Los principios fundamentales de la ECOE son⁹:

- Objetividad: modelos de examen estandarizados, actuación estandarizada de los actores/pacientes de las estaciones y un entrenamiento previo de los evaluadores para que realicen las mismas preguntas, evaluándolas de manera similar.
- Estructura: centrada en el diseño de la estación ECOE, que evalúa tareas clínicas específicas de manera estructurada y estandarizada, acordes al plan de formación.

Las herramientas utilizadas son diferentes estaciones clínicas que simulan entornos y situaciones clínicas reales, check list y evaluadores entrenados.

La ECOE respecto al modelo de evaluación tradicional ha demostrado reducir sesgos y evaluar además de conocimientos teóricos otras habilidades, aptitudes y la aplicación práctica del conocimiento. Se ha observado que todo ello favorece una mayor autonomía y aprendizaje significativo.

La pandemia ha revolucionado el impacto de la formación online en la enseñanza superior. Durante la pandemia, la ECOE fue desarrollada mundialmente de forma virtual, en España mediante las plataformas de gestión de docencia de cada universidad: Moodle, Sakai, Blackboard y la plataforma de la fundación Practicum-Script®. La plataforma mayoritaria internacional fue “zoom”, que presentó como principal inconveniente que no pudieron ser evaluadas las habilidades manuales y de comunicación^{3,5}. Hopwood desarrolló un modelo de evaluación con 12 claves para el adecuado desarrollo de una ECOE en formato virtual⁶. Posteriormente surge Second life como alternativa al desarrollo de la ECOE, con la capacidad de desarrollar habilidades comunicativas y de oratoria (Figura 1).



Figura 1: Ilustración de una clase impartida en la isla virtual perteneciente a la facultad de medicina de la universidad de Málaga, denominada “The Medical Master Island”, en Second Life, donde los alumnos tienen la oportunidad de debatir casos y aprender de forma interactiva, trabajando habilidades comunicativas y de oratoria.

En la actualidad algunas universidades y centros utilizan Second Life para situarse a la vanguardia en el mundo de la educación virtual. En cuanto a la ventajas e inconvenientes de Second Life como plataforma educativa:

Ventajas:

- Realización de tareas tanto sincrónicas como asincrónicas.
- Puede ser utilizado de forma remota.
- Fácil acceso y gratuidad.
- Entorno atractivo, lúdico, divertido e interesante: gamificación.
- Anonimato: desarrollo de técnicas de oratoria y comunicación.
- Especialmente útil en evaluaciones formativas.
- Promueve un aprendizaje activo.

Inconvenientes:

- Dificultades técnicas (debidas al procesador, tarjeta gráfica o mala conexión a internet).
- Costes tanto de mantenimiento de la isla como de tiempo para el profesorado en la preparación de clases y talleres en esta plataforma. En los diversos proyectos realizados no suelen superar el 10% y pueden ser resueltos con éxito.

OBJETIVOS

- ✓ Valorar la viabilidad de crear estaciones ECOE 3D de Radiología en el entorno virtual Second Life desde un punto de vista organizativo y técnico.
- ✓ Analizar su impacto en la formación, evaluando las competencias adquiridas en la lectura de casos y la percepción de los usuarios.
- ✓ Analizar la valoración del feed-back aportado por los estudiantes, su utilidad y la posibilidad de incorporarlo en futuros métodos de enseñanza formativos.

MATERIAL Y MÉTODO

El Rotatorio de Radiología se organiza durante un periodo de 10 días lectivos (dos semanas naturales), con siete grupos sucesivos de 24-28 alumnos de sexto curso. El primer día del rotatorio los estudiantes fueron informados de los conceptos y principios básicos de la prueba ECOE y los detalles de esta ECOE virtual que se realizaría al final del rotatorio como ECOE formativa de entrenamiento en Radiología.

Se diseñaron dos salas ECOE con 6 estaciones cada una. Cada estación incluía la situación clínica de partida, uno o dos monitores con las imágenes radiológicas y equipos de radiología para contextualizar la sala. El décimo día del rotatorio, los alumnos realizaron la ECOE en la sala asignada, con un tiempo de 9 minutos por estación. (Figura 2 y 3)



Figura 2: Escenas con un estudiante en una estación ECOE de las salas azul y amarilla, respectivamente

ECO-E-RX **Supuesto clínico**

Hombre de 55 años de edad, que acude a urgencias Intenso dolor abdominal, con pérdida de conocimiento,. A su llegada hipotensa, FC 140, marcada palidez cutánea y mucosa. Ausencia de pulsos pedios.

- 1) Describa lo mejor posible la técnica empleada y los hallazgos patológicos.
- 2) Establezca un diagnóstico diferencial en base a los hallazgos y la historia clínica.
- 3) Cual sería su propuesta de manejo inmediato del paciente.

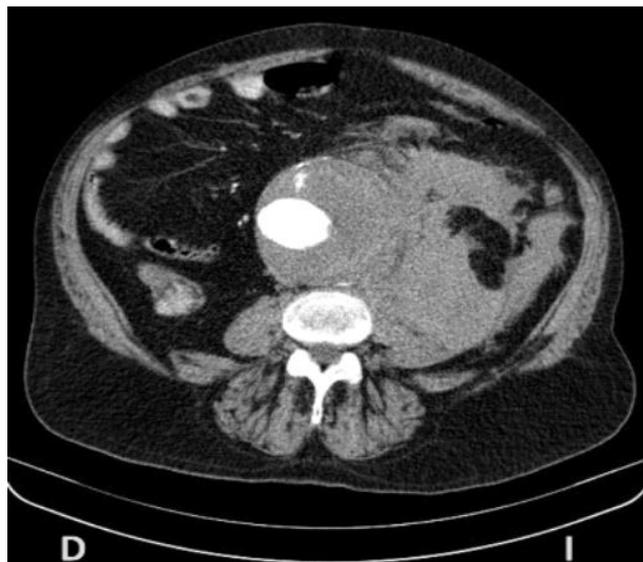


Figura 3: Ejemplo de supuesto clínico de una estación ECOE (arriba), con imagen representativa del caso (abajo).

Una semana después de la realización de la ECOE, los alumnos recibieron un informe de retroalimentación con su calificación y la media obtenida en su sala, para objetivar sus fortalezas y debilidades y se les solicitó que completaran un cuestionario de valoración de la experiencia de forma voluntaria.

El cuestionario de valoración de la experiencia consistía en:

- Una pregunta dicotómica sobre si conocían Second Life antes de la experiencia.
- Trece ítems con afirmaciones sobre la experiencia a responder con una escala Likert de 5 puntos (1: Totalmente en desacuerdo. 2: En desacuerdo. 3: Ni de acuerdo ni en desacuerdo. 4: De acuerdo. 5: Totalmente de acuerdo).
- Cinco preguntas en una escala Likert de 9 puntos sobre la carga cognitiva (esfuerzo mental) que les suponía realizar la experiencia.
- Calificación de hasta 10 puntos de nueve aspectos de la experiencia ECOE.

Un espacio para comentarios libres, si querían añadir algo más.

La evaluación académica de la experiencia consistió en la realización de la prueba ECOE, utilizada como evaluación formativa. La ECOE se calificó con una lista de verificación de 8-10 ítems por estación, otorgando hasta 10 puntos. Posteriormente, se obtuvo la media aritmética de las 6 estaciones ECOE de cada alumno.

RESULTADOS

CALIFICACIÓN DE LA EXPERIENCIA

La calificación media global de la prueba fue $4,98 \pm 1,34$, sin diferencias significativas en la nota media entre los alumnos que usaron la sala azul o la amarilla, con notas medias globales de $5,09 \pm 1,36$ y $4,86 \pm 1,31$, respectivamente. Vemos la clasificación por grupos en la figura 4.

VALORACIÓN DE LA EXPERIENCIA

Participaron 163 estudiantes, 117 (68,8%) entregaron un cuestionario de valoración. En la figura 5 se observa la valoración de la experiencia expresada en escala Likert, con grados de acuerdo entre 1-5. En la figura 6 se observa la valoración de la experiencia global.

Calificación ECOE por grupos

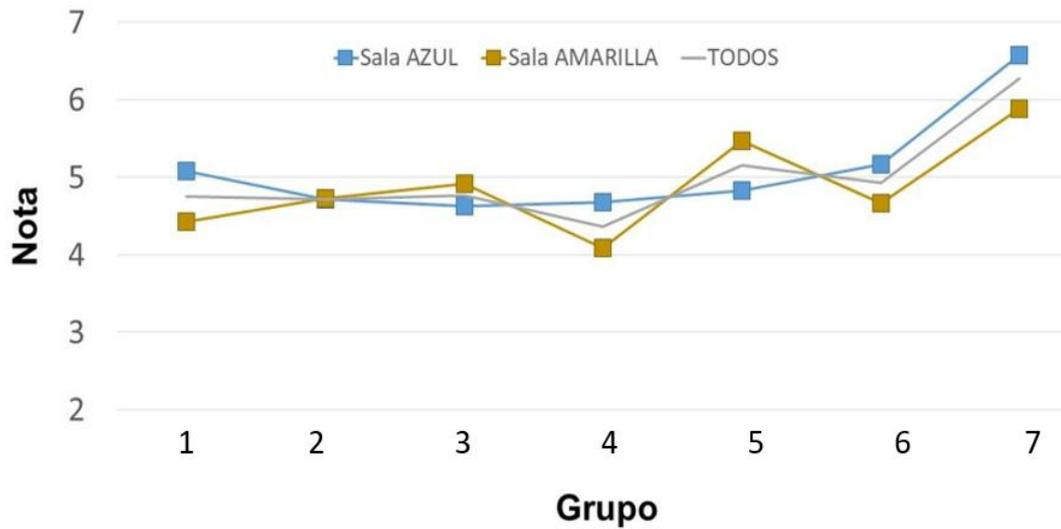


Figura 4: Los puntos representan las notas medias de cada grupo, subdivididos en las diferentes salas, representadas por su color, azul y amarilla.

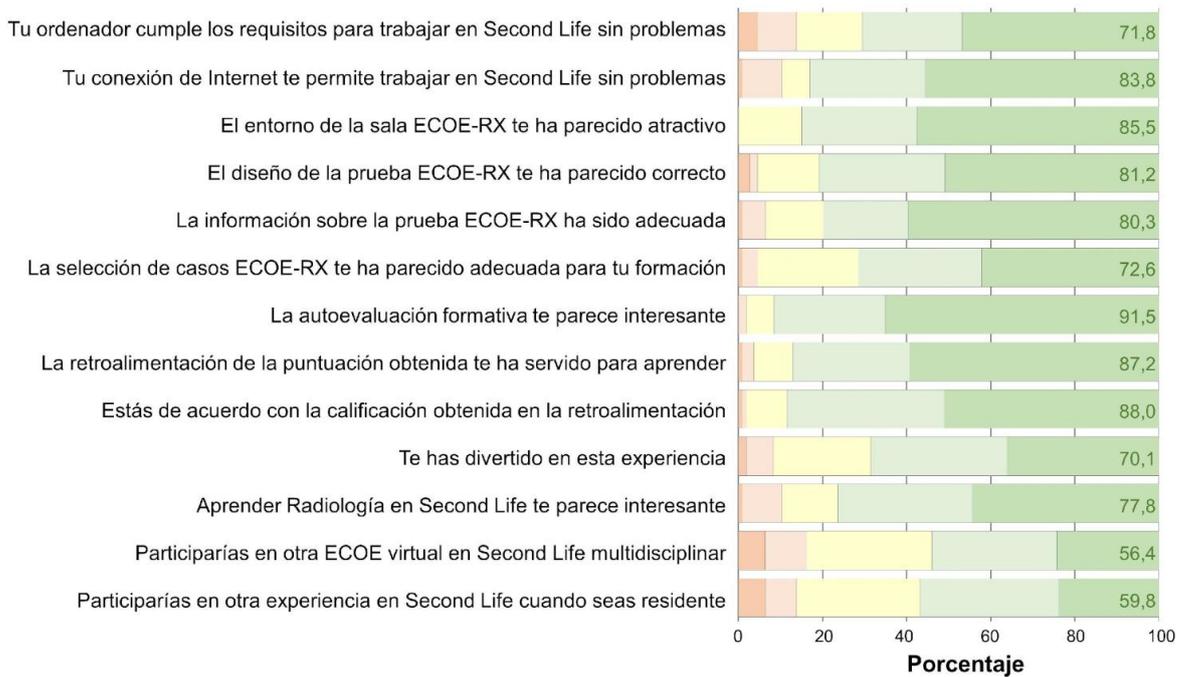


Figura 5: Distribución de respuestas a las preguntas del cuestionario a responder en una escala Likert de 5 puntos. En color rojo las respuestas 1) Totalmente en desacuerdo y 2) En desacuerdo. En color amarillo las respuestas neutras 3) Ni de acuerdo ni en desacuerdo. En color verde las respuestas 4) De acuerdo y 5) Totalmente de acuerdo. Las cifras sobre la barra muestran el porcentaje de estudiantes que estuvieron de acuerdo. Lo más destacado es el grado de acuerdo en el interés por la autoevaluación formativa.

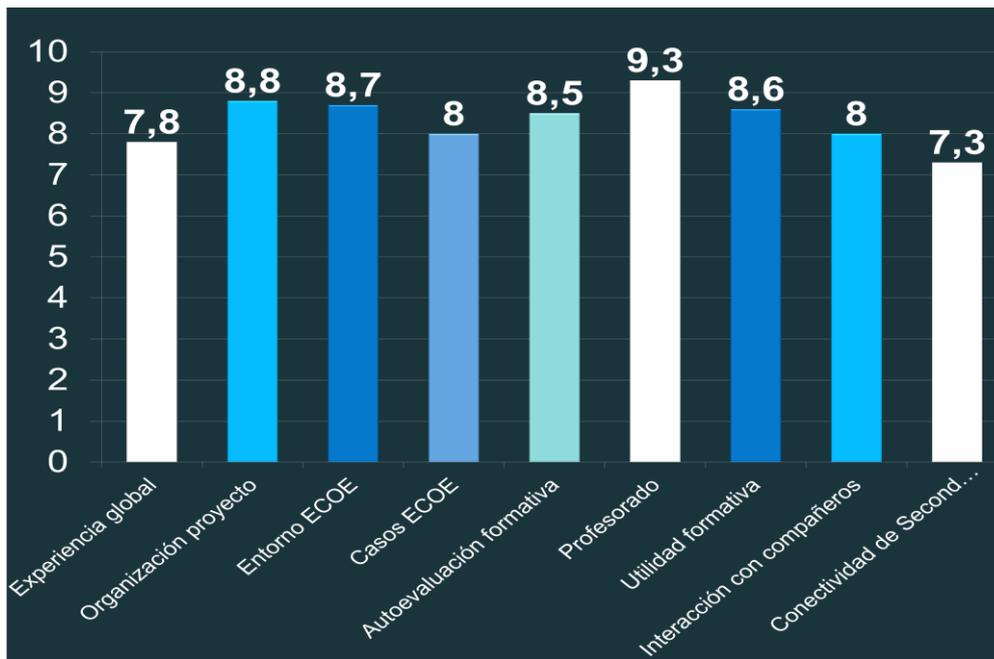


Figura 6: Media de la puntuación otorgada a diferentes aspectos de la experiencia, de 0 a 10 puntos.

Entre los elementos más destacados se encontraron: El profesorado ($9,3 \pm 1,0$), la organización del proyecto ($8,8 \pm 1,2$), el contenido formativo de los casos ECOE ($8,6 \pm 1,5$), el entorno virtual de las estaciones ECOE ($8,7 \pm 1,5$) y la autoevaluación formativa ($8,5 \pm 1,4$). Lo menos valorado fue la conectividad a Second Life ($7,3 \pm 2,0$).

COMENTARIOS ABIERTOS

Cuarenta y dos alumnos (25,8%) incluyeron un comentario personal de su valoración del proyecto. Se codificaron por palabras o conceptos clave, subdividiéndolas en 3 categorías: ventajas, inconvenientes y recomendaciones. (Figuras 7, 8 y 9)

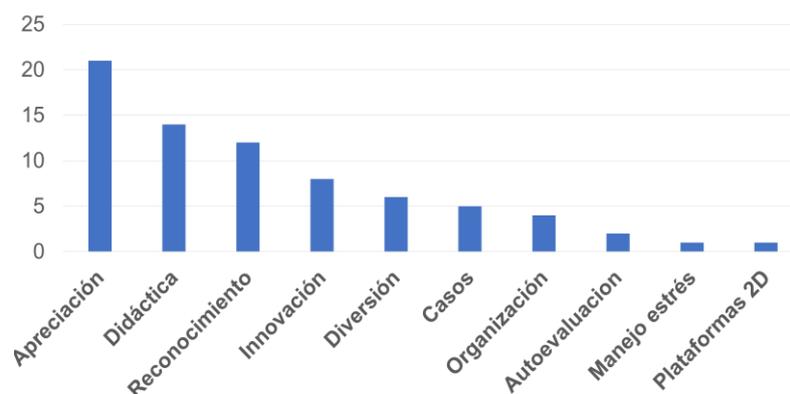


Figura 7: Cuantificación de las opiniones positivas aportadas por los estudiantes, la apreciación del proyecto, opiniones positivas y el grado de interés resulta muy significativo.

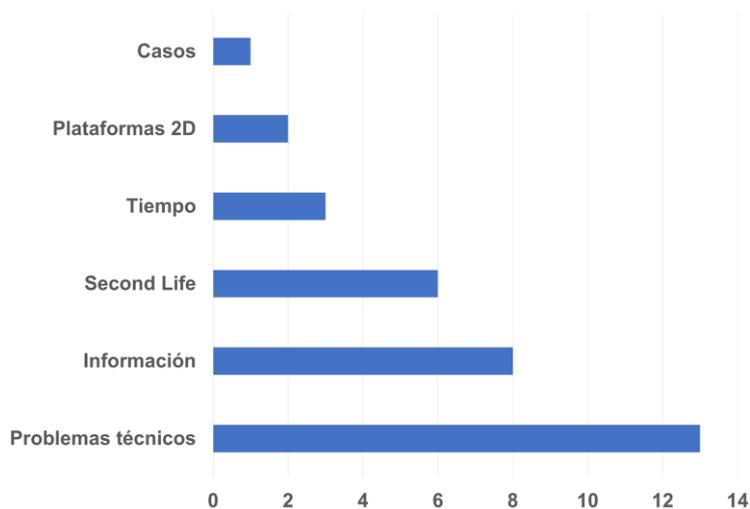


Figura 8: Cuantificación de las opiniones negativas aportadas por los estudiantes, la más significativa, las limitaciones técnicas, fue globalmente de un 8%, menor que en otros proyectos similares.

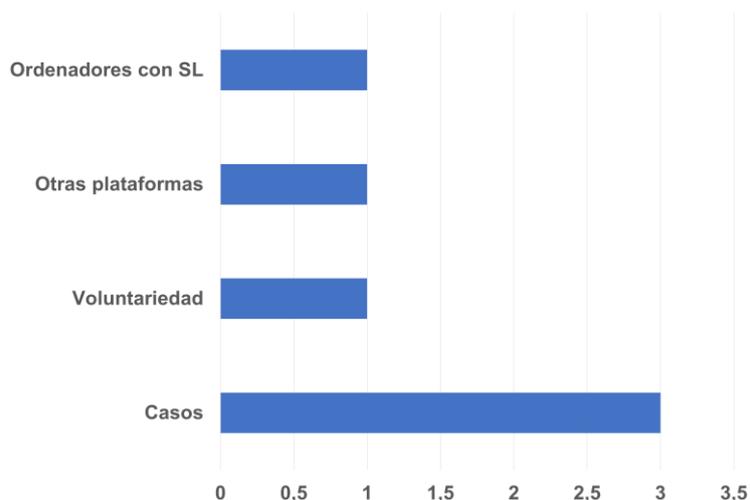


Figura 9: Cuantificación de las recomendaciones aportadas por los estudiantes, destacando las sugerencias sobre el entrenamiento con casos ECOE.

DISCUSIÓN

La utilización del metaverso, uno de cuyos exponentes actuales es Second Life, podría ser de utilidad para el desarrollo de futuras ECOEs virtuales, ya que ha mostrado una gran adhesión y aprendizaje por parte de los alumnos en numerosos proyectos ya realizados en esta plataforma en los últimos años, así como gran interés y motivación.

Los alumnos encuentran que esta plataforma es interesante, atractiva, divertida, útil, con una adecuada simulación de la realidad y presencialidad. Las emociones, el refuerzo positivo, el uso de avatares y la motivación han mostrado buenos resultados en el aprendizaje.

En nuestro estudio, es especialmente llamativo en la calificación final de los casos ECOE el grupo 7, con mejores resultados que los anteriores. Este dato podría deberse a un efecto copia o ayuda de sus compañeros, ya que el resto de los parámetros evaluados y observados era similar en todos los grupos, o a un mayor conocimiento de radiología y una mayor habituación a emplear el pensamiento crítico, ya que este grupo se examinó el último de todos tras la finalización completa de todos los rotatorios.

Los estudiantes perciben las ECOE formativas como positivas y útiles y aprecian el feedback con los tutores y formadores. En este proyecto de ECOE virtual hemos visto que el mayor grado de acuerdo que tuvieron los alumnos en cuanto a la utilidad para su formación fue la autoevaluación formativa. La retroalimentación o feedback ha sido evaluada en varios estudios en el contexto de la ECOE ^{2,10}, describiendo que los estudiantes perciben las ECOE formativas como positivas y útiles, apreciando el feedback con los tutores, formadores y sus propios compañeros, dichas conclusiones apoyan las nuestras, donde vemos la autoevaluación formativa como el aspecto de mayor acuerdo entre los alumnos.

Otros estudios localizados en Second Life han utilizado esta herramienta de feedback con anterioridad, permitiendo mejorar paulatinamente sus trabajos gracias a la colaboración con los alumnos⁸.

Las autoevaluaciones formativas son muy valoradas por los alumnos, por lo que consideramos que habría que utilizarlas en todos los proyectos ECOE formativos para ayudarlos en la identificación de sus debilidades y así fomentar una mejora continua del aprendizaje.

CONCLUSIONES

Esta experiencia docente virtual ha incluido:

- Aprendizaje sincrónico formativo en el modelo ECOE, con retroalimentación mediante la autoevaluación formativa posterior que constaba de un informe con las fortalezas/debilidades de cada alumno.
- Lo más valorado por los alumnos ha sido: La organización del proyecto ($8,8 \pm 1,2$), el entorno ECOE ($8,7 \pm 1,5$), la utilidad para su formación ($8,6 \pm 1,5$) y la autoevaluación formativa ($8,5 \pm 1,4$). Se informaron de algunas limitaciones técnicas para ejecutar adecuadamente la plataforma virtual, que fueron resueltas exitosamente.
- Las ECOE formativas son útiles en el aprendizaje de Radiología, además es un sistema confiable y reproducible que puede extrapolarse a otras asignaturas e incluirse en el plan

docente del programa de estudios de las universidades, para ello el interés e implicación del profesorado es fundamental para incorporar estas nuevas técnicas de enseñanza. La ECOE formativa previa a la sumativa podría ayudar a los estudiantes a familiarizarse con este modelo y a reducir su ansiedad y estrés al enfrentarse a la evaluación sumativa fin de grado.

- El modelo ECOE se adapta adecuadamente al formato virtual, siendo muy aceptado y valorado por los alumnos en este entorno y adquiriendo las ventajas del mismo como la capacidad de acceder de forma remota, sincrónica y asincrónica. No se han encontrado problemas de diseño que impidan la realización de la ECOE en un formato virtual. Este modelo podría permitir compartir información y proyectos de investigación y trabajar de forma coordinada con otros profesionales de otros países ya que permite la interconexión simultánea.
- Second Life ha mostrado ser una plataforma virtual interesante y competente en la docencia para el desarrollo de evaluaciones ECOE virtuales, con gran adhesión de los alumnos y con percepciones muy positivas, destacando significativamente las ventajas sobre los escasos inconvenientes, siendo considerada por los alumnos como divertida, amena, interesante, atractiva, práctica, educativa, útil o formativa, entre otros. Además, ha mostrado la viabilidad del desarrollo de ECOEs formativas en esta plataforma lo cual no había sido estudiado hasta el momento, y su éxito en cuanto al parámetro de coste-efectividad, en términos de dinero y de profesorado.

BIBLIOGRAFÍA

7. Almodóvar-Fernández I, González-Moret R, Ibáñez-Torres L, Sánchez-Thevenet P, Grupo para la implantación de la ECOE. La evaluación clínica objetiva estructurada ECOE, una oportunidad para el aprendizaje en Enfermería. *Index Enferm.* 2021;30(4):280-281. [Citado 17 de febrero de 2025] Disponible en: https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1132-12962021000300001
8. Chisnall B, Vince T, Hall S, Tribe R. Evaluation of outcomes of a formative objective structured clinical examination for second-year UK medical students. *International Journal of Medical Education.* 2015;6:76-83. <https://doi.org/10.5116/ijme.5572.a534>
9. Creagh S, Pigg N, Gordillo C, Banks J. Virtual medical student radiology clerkships during the COVID-19 pandemic: Distancing is not a barrier. *Clin Imaging.* 2021;80:420-423. <https://doi.org/10.1016/j.clinimag.2021.08.024>
10. García Puig J, Vara Pinedo F, Vargas Nuñez JA. Implantación del Examen Clínico Objetivo y Estructurado en la Facultad de Medicina de la Universidad Autónoma de

Madrid. *Educ Med*. 2018; 19(3):178-187.

<https://doi.org/10.1016/j.edumed.2017.01.003>

11. Hannan TA, Umar SY, Rob Z, Choudhury RR. Designing and running an online Objective Structured Clinical Examination (OSCE) on Zoom: A peer-led example. *Med Teach*. 2021;43(6):651-655. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2021.1887836>
12. Hopwood J, Myers G, Sturrock A. Twelve tips for conducting a virtual OSCE. *Med Teach*. 2021;43(6):633-636. <https://doi.org/10.1080/0142159X.2020.1830961>
13. Khan KZ, Ramachandran S, Gaunt K, Pushkar P. The Objective Structured Clinical Examination (OSCE): AMEE Guide No. 81. Part I: An historical and theoretical perspective. *Med Teach*. 2013;35(9):1437-1446. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2013.818634>
14. Lorenzo Álvarez R, Pavía Molina J, Sendra Portero F. Exploring the Potential of Undergraduate Radiology Education in the Virtual World Second Life with First-cycle and Second-cycle Medical Students. *Acad Radiol*. 2018;25:1087-1096. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2018.02.026>
15. Pérez Baena AV, Sendra Portero F. La evaluación clínica objetiva estructurada (ECO-E): aspectos principales y papel de la radiología. *Radiología*. 2023;65:55-65. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2022.09.010>
16. Sulaiman ND, Shorbagi SI, Abdalla NY et al. Group OSCE (GOSCE) as a formative clinical assessment tool for pre-clerkship medical students at the University of Sharjah. *Journal of Taibah University Medical Sciences*. 2018;13(5):409-414. <https://doi.org/10.1016/j.jtumed.2018.06.003>

ELABORACIÓN DE UN MODELO RADIÓMICO BASADO EN TC CEREBRAL SIN CONTRASTE PARA PREDECIR LA ETIOLOGÍA DEL ICTUS ISQUÉMICO AGUDO

Jacobo Porto Álvarez¹, Antonio Jesús Mosqueira Martínez¹, Miguel Souto Bayarri¹

¹Departamento de Radiodiagnóstico. Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela
jacoporto@hotmail.com; drmosqueiramartinez@gmail.com; miguel.souto@usc.es

RESUMEN

En la determinación etiológica del ictus isquémico no se tiene en cuenta la composición del trombo, sin embargo, ésta parece variar en función de su origen. La radiómica puede proporcionar datos cuantitativos que pueden asociarse a estas diferentes composiciones del trombo. El objetivo de esta investigación es utilizar las características radiómicas extraídas de la TC cerebral sin contraste para predecir la etiología de los pacientes con ictus isquémico. Se extrajeron un total de 845 variables radiómicas de cada uno de los 41 pacientes incluidos en el estudio y se clasificó a los pacientes como cardioembólicos o aterotrombóticos, comparando los resultados con la clasificación basada en los criterios TOAST. El modelo radiómico predictivo obtuvo un área bajo la curva de 0,842 y una precisión de 0,902 ($p=0,000$) en la clasificación de la etiología del ictus. La radiómica basada en la TC puede ayudar a determinar la etiología del ictus isquémico agudo.

INTRODUCCIÓN

El ictus es una alteración en la circulación cerebral que altera de transitoria o definitivamente la actividad cerebral¹. Cada año, 15 millones de personas en todo el mundo sufren un ictus, lo que provoca 5 millones de muertes y 5 millones de individuos con discapacidades importantes para el resto de sus vidas². En 2021, se calcula que 795.000 personas en Estados Unidos sufrirán un ictus, 85% de los cuales serán isquémicos³. En el contexto del ictus isquémico, la etiología no siempre es clara, sin embargo, es crucial para su tratamiento y prevención secundaria. Los criterios más empleados actualmente para la determinación de la etiología del ictus isquémico son los criterios TOAST (Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment). Estos clasifican a los pacientes con ictus isquémico en cinco grupos etiológicos diferentes: cardioembólico, aterotrombótico, infarto lacunar, infarto de origen inusual e infarto de origen indeterminado⁴. Mientras que el diagnóstico de un infarto lacunar o inusual

es relativamente sencillo, la clasificación de un ictus isquémico como cardioembólico o aterotrombótico es a veces difícil de realizar, y sin embargo tiene una gran importancia clínica. En el contexto de la prevención secundaria, a los pacientes con una etiología ateromatosa se les administrará un tratamiento basado en terapia antiplaquetaria, mientras que a los pacientes con un origen cardioembólico se les proporcionará un tratamiento basado en la anticoagulación. En muchos casos, los pacientes pueden presentar características asociadas a ambos grupos etiológicos, lo que da lugar a una etiología desconocida o a una clasificación «indeterminada» según los criterios TOAST. Esto dificulta la formulación de estrategias eficaces de prevención secundaria para estos pacientes.

Por otro lado, la composición de un trombo parece que puede variar en función de la causa subyacente. Los trombos causados por la aterosclerosis de las grandes arterias está descrito que tienen una mayor proporción de hematíes que los trombos con otro origen según el sistema TOAST. Además, también se ha descrito que los trombos de origen cardiogénico tienen una mayor proporción de fibrina y plaquetas en comparación con los trombos causados por otros factores⁵⁻⁷.

En cuanto a las características radiológicas, también se han descrito diferencias entre los trombos de origen cardiogénico y aterotrombótico, describiéndose en los primeros una mayor densidad en la tomografía computarizada sin contraste^{8,9}. Este hallazgo sugiere que la representación radiológica del trombo depende también de su composición biomolecular y, por lo tanto, de su origen.

La radiómica es un campo de la radiología que se centra en la extracción y el análisis de un gran número de datos cuantitativos a partir de imágenes radiológicas¹⁰. Esta herramienta ha sido objeto de numerosos estudios, centrados principalmente en sus inicios en la patología oncológica. Sin embargo, cada vez son más frecuentes los estudios que utilizan esta técnica fuera del ámbito oncológico, especialmente en enfermedades neurológicas¹¹. Dadas las diferencias comentadas en cuanto a la composición biomolecular y el aspecto radiológico de los trombos entre las etiologías cardioembólica y aterotrombótica del ictus isquémico, la radiómica podría aportar más información sobre estas diferencias mediante el análisis de los datos cuantitativos obtenidos de las imágenes radiológicas de dichos trombos. Ya existen estudios publicados recientemente que demuestran que los datos radiómicos pueden proporcionar información importante para determinar la etiología del ictus isquémico agudo^{12,13}. En estos pacientes la radiómica puede aportar información temprana muy valiosa de cara al manejo de estos pacientes.

CONTENIDO

HIPÓTESIS Y OBJETIVO DE LA TESIS

La hipótesis de esta investigación es que los datos radiómicos obtenidos a partir de imágenes de TC sin contraste de los trombos de pacientes con ictus isquémico serán diferentes entre los pacientes con un origen cardiogénico del trombo respecto a los pacientes con un origen aterotrombótico del mismo. Esto podría ayudar a determinar la etiología del ictus isquémico agudo, aportando información valiosa desde el primer momento de atención de estos pacientes. El objetivo de este artículo es, por tanto, utilizar un modelo de aprendizaje automático basado en los datos radiómicos obtenidos de la TC cerebral sin contraste de pacientes con ictus isquémico agudo, para clasificarlos como cardioembólicos o aterotrombóticos, correlacionando los resultados con los criterios TOAST.

MATERIAL Y MÉTODO

DISEÑO DEL ESTUDIO

Esta investigación se ha llevado a cabo en un único centro hospitalario, de forma retrospectiva, siguiendo las directrices de la Declaración de Helsinki de la Asociación Médica Mundial (2008) y fue aprobado por el Comité de Ética local de Santiago-Lugo (código 2023/299). Los pacientes fueron seleccionados de la base de datos de pacientes con sospecha de ictus isquémico agudo atendidos en el Hospital Universitario de Santiago de Compostela, hospital público de tercer nivel asistencial, entre el 1 de enero de 2021 y el 31 de diciembre de 2021 (con un total de 882 pacientes). Se obtuvo el consentimiento informado de cada paciente tras una explicación completa de los procedimientos de adquisición y análisis de las imágenes. Todos los pacientes recibieron tratamiento de neurólogos y neurorradiólogos expertos en el manejo del ictus isquémico agudo del Hospital Clínico de Santiago de Compostela, de acuerdo con las directrices nacionales e internacionales.

RADIOMICS QUALITY SCORE (RQS) Y CLEAR CHECKLIST

La puntuación de calidad radiómica (RQS) se desarrolló para medir la calidad de los estudios radiómicos¹⁴. Nuestro estudio recibió una puntuación de 19 sobre 36 (52,78%). Además, para la preparación de este artículo se siguieron las directrices de la CheckList for EvaluAtion of Radiomics research (CLEAR)¹⁵.

PACIENTES

Los criterios de inclusión del estudio son: (1) pacientes con ictus isquémico agudo causado por oclusión en la arteria carótida interna (ACI) y la arteria cerebral media (ACM) (segmentos M1 y M2 proximal); (2) pacientes con TC cerebral sin contraste realizada con un grosor de corte inferior a 1 mm; (3) pacientes con tromboémbolo visible en la TC cerebral sin contraste; y (4) consultas de seguimiento tres meses después del ictus isquémico agudo en los pacientes que sobrevivieron al evento agudo. Los criterios de exclusión del estudio fueron los siguientes: (1) pacientes con ictus isquémico agudo a los que se hubieran realizado los estudios de imagen en un hospital diferente; (2) pacientes con ictus isquémico agudo secundario a otros procedimientos, (como la embolización aneurismática o tumoral); (3) pacientes con más de un vaso intracraneal ocluido, o con una oclusión en tándem; (4) pacientes con etiología distinta de la cardioembólica o aterotrombótica según los criterios TOAST; (5) pacientes con doble etiología cardioembólica y aterotrombótica según los criterios TOAST; (6) pacientes con sospecha de etiología cardioembólica o aterotrombótica pero que no cumplen los criterios principales definidos por el sistema TOAST para cada grupo; y (7) pacientes con oclusión de la arteria cerebral media distal (segmentos M3 o M4). La administración de activador tisular del plasminógeno (tPA), un agente terapéutico apto para el tratamiento de pacientes con ictus isquémico agudo, se realizó de acuerdo con las directrices clínicas establecidas, pero no se tuvo en cuenta de cara a la inclusión de pacientes ni en el análisis de resultados debido a que ésta se realiza posteriormente a la realización de los estudios de imagen¹⁶.

ADQUISICIÓN DE LAS IMÁGENES

Todos los pacientes incluidos en el estudio se sometieron a una TC cerebral sin contraste en nuestro hospital, utilizando dos escáneres diferentes (ambos de 16 filas de detectores, 120 kV), de la misma marca y modelo (Phillips Ingenuity; Ámsterdam, Países Bajos) durante el proceso de diagnóstico del ictus isquémico agudo. Los pacientes fueron asignados aleatoriamente a cada escáner. Las imágenes obtenidas tienen un grosor de corte de 0,625 mm. Aunque se dispone de reconstrucciones con un grosor de 1 mm, no se utilizan para el análisis. La anchura y el centro de la ventana se fijaron en 80 y 40 unidades Hounsfield, respectivamente.

SEGMENTACIÓN, PRE-PROCESADO Y EXTRACCIÓN DE LAS VARIABLES RADIÓMICAS

Dos neurorradiólogos intervencionistas y un residente de radiología con formación especializada, realizaron la segmentación semiautomática de cada trombo. La segmentación se llevó a cabo utilizando el software de libre acceso 3D Slicer (versión 5.2.2, Massachusetts, EE.UU.)¹⁷. El software incluye una herramienta de segmentación (*Level Tracing tool*) que permite la segmentación semiautomática basada en la detección automática de bordes. La región de interés segmentada fue el trombo visible en la TC cerebral sin contraste de pacientes con ictus isquémico agudo. La segmentación se realizó en los tres planos del espacio. La anchura y el centro de la ventana se fijaron en 100 y 50 UH, respectivamente (Figura 1). Las características radiómicas se obtuvieron utilizando la herramienta *Slicer Radiomics*, que también está disponible en 3D-Slicer. Esta aplicación utiliza las clases computacionales implementadas en la biblioteca *Pyradiomics*. Se extrajo el conjunto completo de variables radiómicas disponibles en 3D Slicer, que incluía las siguientes: variables de primer orden, GLCM, GLDM, GLDM, GLRLM, GLSZM, NGTDM y variables basadas en la forma. Se obtuvo un total de 32.110 variables radiómicas, con 845 variables radiómicas por cada paciente incluido en el estudio.

La segmentación, la extracción de variables radiómicas y el análisis de los resultados se realizaron en un sistema con procesador Intel CORE i7 (Santa Clara, California, EE.UU.), 16 GB de RAM, disco duro de 1 TB y sistema operativo Microsoft Windows 11 (Redmond, Washington, EE.UU.).

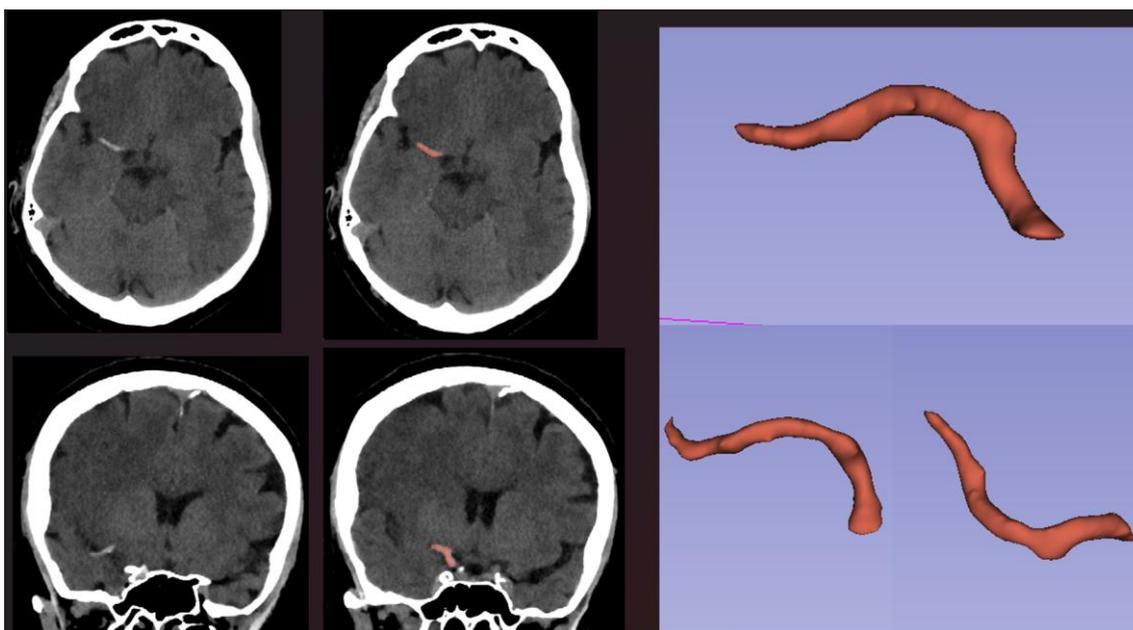


Figura 1. Segmentación del trombo en TC basal empleando 3D-Slicer.

DATOS CLÍNICOS

En el estudio también se registraron la mediana de unidades Hounsfield del trombo para cada grupo etiológico, así como otros datos clínicos (edad, sexo, hipertensión, diabetes mellitus, dislipidemia, consumo de alcohol, consumo de drogas y tabaquismo).

ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La selección de las variables radiómicas y el análisis de las mismas se llevó a cabo utilizando el paquete estadístico Statistical Package for the Social Sciences Statistics (SPSS) (versión 21., IBM. Armonk, Nueva York, EEUU)¹⁸. En primer lugar, se realizó un análisis multivariante, empleando un modelo de regresión logística para conocer las variables asociadas a la etiología del ictus isquémico agudo, con un intervalo de confianza del 95%. El análisis multivariante incluyó 845 variables radiómicas y 9 variables clínicas (edad, sexo, hipertensión arterial, consumo de drogas, consumo de alcohol, tabaquismo, diabetes, dislipemia y densidad medida en unidades Hounsfield). Para seleccionar variables significativamente asociadas a la etiología cardioembólica o aterotrombótica del ictus isquémico agudo, el valor p debe ser inferior a 0,05. La puntuación ASPECTS y el estado funcional del paciente no se tuvieron en cuenta en el análisis debido a que la segmentación se centra exclusivamente en el trombo, excluyendo el parénquima cerebral.

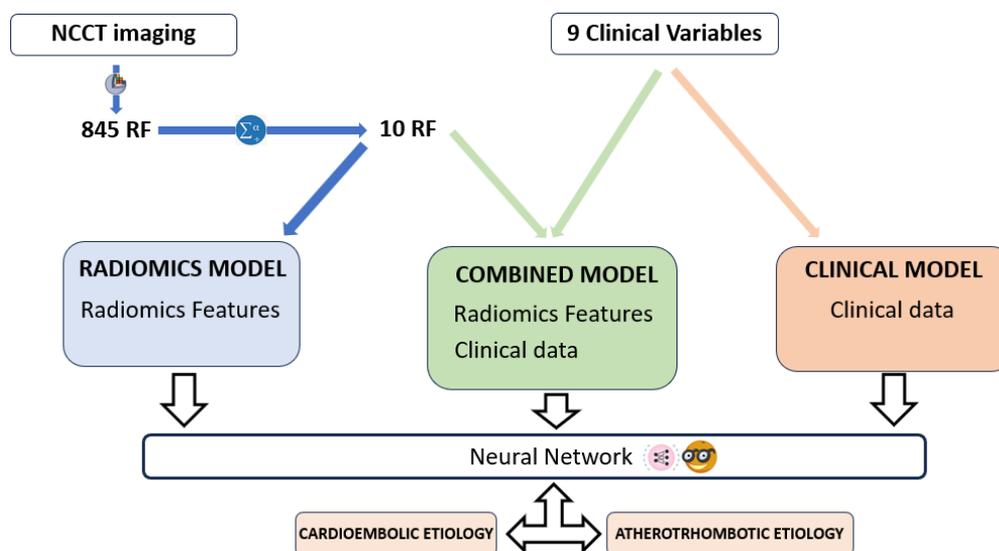


Figura 2. Estructura del modelo radiómico empleado.

Los modelos predictivos se elaboraron con el software de acceso libre Orange: Data Mining Toolbox in Python (versión 3.33.0, Liubliana, Eslovenia)¹⁹. En total se construyeron tres

modelos predictivos (Figura 2): (i) un modelo radiómico, basado en las variables radiómicas asociadas de forma estadísticamente significativa a la etiología aterotrombótica y cardioembólica según los criterios TOAST; un modelo clínico, compuesto únicamente por variables clínicas; y (iii) un modelo combinado que incorporaba tanto las variables radiómicas seleccionadas como las variables clínicas. El clasificador automático utilizado fue Neural Network, un algoritmo de percepción multicapa también disponible en Orange Data Mining^{20,21}. El paquete de software de Orange facilita la modificación de los parámetros asociados al clasificador Neural Network. Los parámetros de configuración seleccionados para dicho clasificador son los siguientes: 100 neuronas por capa oculta, la función de activación ReLu para la capa oculta, un optimizador estocástico basado en gradientes (Adam) para la optimización de pesos y 200 iteraciones máximas.

La aplicación de Orange empleada para la evaluación del rendimiento del modelo de clasificación es *Test and Score*, que permite aplicar diversas formas de muestreo. En este caso, el método de muestreo empleado fue la validación cruzada dejando uno fuera o “leave-one-out” (LOOCV). El método LOOCV selecciona $n-1$ pacientes para el grupo de entrenamiento, dejando al paciente restante para el grupo de test. Este proceso se repite n veces, asignando en cada una de las veces a un paciente diferente para el grupo de test. El método LOOCV está especialmente recomendado para evaluar el rendimiento de los modelos de aprendizaje automático cuando el número de conjuntos de datos es limitado²². *Test and Score* también permite observar el rendimiento del clasificador. La *accuracy* de la clasificación y el área bajo la curva (AUC) de los modelos predictivos se calcularon con esta aplicación. Con la aplicación *confusion matrix* disponible también en Orange, se obtuvo la matriz de confusión del clasificador Neural Network. Por último, el widget *Box Plot*, también disponible en Orange, mide la concordancia entre los resultados del clasificador y la clasificación final tras aplicar los criterios TOAST, empleando una prueba de Chi cuadrado y un intervalo de confianza del 95%.

El rendimiento del clasificador en los tres modelos se ha evaluado mediante el coeficiente kappa de Cohen, el AUC, la *accuracy*, la sensibilidad (Se) y la especificidad (Sp), con un intervalo de confianza del 95%. El coeficiente Kappa es una medida estadística del grado de concordancia entre las categorías verdaderas y predichas, excluyendo la posibilidad de concordancia por azar. Su valor es más conservador y estadísticamente más válido que la *accuracy* o el AUC.

RESULTADOS

SELECCIÓN DE PACIENTES

De los 882 pacientes atendidos por ictus isquémico agudo en el periodo de selección establecido, tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, sólo se seleccionaron 41 pacientes. Estos pacientes se dividieron en dos grupos mediante el sistema TOAST: grupo de etiología cardioembólica (29 pacientes) y grupo de etiología aterotrombótica (12 pacientes).

REDUCCIÓN DE LAS VARIABLES RADIÓMICAS

En el análisis multivariante realizado con SPSS, de las 845 variables radiómicas extraídas, sólo 10 se asociaron de forma estadísticamente significativa con la etiología cardioembólica y aterotrombótica del ictus isquémico agudo (p -valor $< 0,05$). Las variables radiómicas seleccionadas incluían a una característica de forma (Sphericity) y a 9 características de textura: 4 Gray Level Dependence Matrix (GLDM), 2 Gray-Level Co-occurrence Matrix (GLCM), 2 Gray-Level Run Length Matrix (GLRLM) y 1 Neighborhood Gray Tone Difference Matrix (NGTDM).

De las variables clínicas incluidas en el análisis multivariante, ninguna mostró una asociación estadísticamente significativa con la etiología cardioembólica o aterotrombótica del ictus isquémico agudo (p -valor $> 0,05$).

MODELOS PREDICTIVOS

Se observó que el modelo radiómico identificaba con precisión las etiologías cardioembólica y aterotrombótica del ictus isquémico agudo. La *accuracy*, el AUC, la Se y la Sp para predecir la etiología cardioembólica o aterotrombótica del ictus isquémico fueron de 0,902, 0,842, 0,833 y 0,931 respectivamente (p -valor 0,000), con Kappa = 76,43%. Sin embargo, cuando se emplearon tanto las variables radiómicas como las variables clínicas (modelo combinado), la *accuracy*, el AUC, la Se y la Sp para predecir la etiología cardiembólica y aterotrombótica del ictus isquémico disminuyeron a 0,732, 0,655, 0,556 y 0,781 respectivamente (p -valor 0,040), con un Kappa = 30,07%. Por último, el modelo clínico mostró el peor rendimiento en la predicción de la etiología cardioembólica o aterotrombótica del ictus isquémico agudo, con resultados estadísticamente no significativos, con una *accuracy* de 0,561, un AUC de 0,402, una Se de 0,300 y una Sp de 0,710 (p -valor 0,993), con una Kappa = -6,03%.

DISCUSIÓN

El presente estudio ha demostrado que existe una correlación entre algunas variables radiómicas obtenidas de las imágenes de la TC de cerebro sin contraste de pacientes con ictus isquémico agudo y la clasificación de la etiología del mismo en aterotrombótica o cardioembólica. Se analizaron un total de 845 variables radiómicas, de las cuales solamente 10 estaban estadísticamente asociadas con estos dos grupos etiológicos (p -valor $< 0,05$). El análisis multivariante no reveló ninguna asociación estadísticamente significativa entre las variables clínicas recogidas (densidad del trombo, hipertensión arterial, dislipidemia, diabetes mellitus, tabaquismo, alcoholismo, consumo de drogas, edad y sexo) y la etiología cardioembólica o aterotrombótica del ictus isquémico agudo (p -valor $> 0,05$). Se desarrollaron tres modelos predictivos: uno basado en las variables radiómicas seleccionadas, otro basado únicamente en variables clínicas y un tercer modelo basado en la combinación de las variables radiómicas seleccionadas y las variables clínicas. Se utilizó un clasificador automático basado en redes neuronales (Neural Network). El modelo radiómico obtuvo excelentes resultados, con un AUC de 0,842, una *accuracy* de 0,902, una Se de 0,833 y una Sp de 0,931. El rendimiento del modelo, medido por el índice Kappa de Cohen ($K = 76,43\%$), demostró una concordancia sustancial con los criterios TOAST, considerados en muchos centros como los criterios de referencia para la clasificación etiológica del ictus isquémico agudo. Sin embargo, cuando se introdujeron variables clínicas en el modelo, se observó un empeoramiento de los resultados, siendo el modelo clínico el que mostraba los resultados más desfavorables.

Los resultados obtenidos concuerdan con los resultados de otros dos artículos publicados sobre la predicción de la etiología del ictus isquémico agudo. Chen et al. obtuvieron una AUC de 0,9018 y una *accuracy* de 0,8929 en la diferenciación entre etiología cardioembólica y aterotrombótica, empleando características radiómicas basadas en imágenes de angioTC¹². La diferencia más notable el trabajo de Chen et al. y la presente investigación es la fuente de los datos radiómicos. En la presente investigación, los datos radiómicos se obtienen a partir de la TC cerebral sin contraste, mientras que en el artículo referenciado se obtienen a partir del angioTC. Otra distinción entre nuestra investigación y el artículo referenciado es que en el presente estudio realizamos una segmentación semiautomática, mientras que en el trabajo de Chen et al. emplearon una segmentación manual. La segmentación semiautomática realizada se basa en la detección automática de bordes, siendo el radiólogo el responsable de que la segmentación incluya la mayor parte posible del trombo. En los pacientes con trombo arterial visible en la TC sin contraste, la diferenciación entre la región de interés y el resto del

parénquima cerebral es lo suficientemente notable como para ser detectado fácilmente por el método de detección automática de bordes, interviniendo el radiólogo únicamente para aceptar o corregir la segmentación realizada. De este modo, la segmentación fue más rápida e incluyó la totalidad de los trombos. Por último, el citado artículo no incorpora variables clínicas dentro del análisis radiómico, a diferencia del enfoque empleado en la presente investigación.

En cuanto al otro artículo publicado, Jiang J et al. obtuvieron un AUC de 0,838 en la predicción de la etiología cardioembólica del ictus isquémico agudo en una muestra de 403 pacientes, realizando también segmentación manual. Utilizaron características radiómicas basadas en TC de cerebro sin contraste de pacientes con ictus isquémico agudo¹³. En lo que respecta a este artículo, la principal diferencia radica en que, en nuestro caso, intentamos predecir tanto el grupo etiológico aterotrombótico como el cardioembólico, en lugar de limitarnos a predecir sólo uno de ellos. Además, en este artículo no se mencionan variables clínicas en el contexto del análisis radiómico. Por otro lado, las imágenes utilizadas en este caso también son de la TC cerebral sin contraste, ofreciendo también buenos resultados en la predicción del grupo cardioembólico, lo que respalda nuestros hallazgos de que existe una correlación entre los datos radiómicos obtenidos de la TC cerebral sin contraste y la etiología cardioembólica y aterotrombótica de los ictus isquémicos agudos. Por lo tanto, este artículo también concluye que la radiómica podría ser útil para determinar la etiología del ictus isquémico agudo.

Nuestra investigación presenta las limitaciones comunes a la gran mayoría de estudios basados en radiómica. La primera es que se trata de un estudio retrospectivo. En este sentido, dado que no hay mucha literatura disponible, creemos que el primer paso para investigar si la radiómica puede aportar algo al diagnóstico de la etiología del ictus isquémico agudo es realizar un estudio retrospectivo, ya que es el que menos conflictos éticos implica, además de no retrasar ni alterar el manejo habitual de estos pacientes. Habiendo demostrado que la asociación parece existir con un estudio retrospectivo, creemos que el siguiente paso es confirmar estos hallazgos con un estudio prospectivo. Otra limitación común de los estudios radiómicos es la validez externa. En nuestro caso, se utilizaron imágenes de dos equipos de TC diferentes, de la misma marca y modelo. Es de vital importancia realizar estudios multicéntricos debido a que los estudios en los que no existe una corte de validación externa pueden presentar un sobreajuste que haga que los resultados sobreestimen la asociación. En nuestro caso, no se incorporó una cohorte externa debido a limitaciones éticas a la hora de exportar las imágenes de los pacientes. En su defecto, se utilizaron imágenes de dos equipos

de TC diferentes. Por último, otra limitación común de los estudios radiómicos es la diferencia de metodología entre los grupos de investigación en el procesamiento de los datos y el análisis de las variables radiómicas. En este caso, es necesario publicar con detalle los pasos realizados para aumentar la bibliografía disponible y compartir metodologías que puedan ser reproducidas por otros grupos de investigación. En cuanto a las limitaciones específicas de nuestro estudio, es importante señalar que contamos con un menor número de sujetos en comparación con los dos estudios similares referenciados. En nuestro caso, además de un periodo de reclutamiento significativamente más corto, el hecho de que sólo se seleccionaran pacientes con coágulo visible en la TC cerebral sin contraste y oclusión pura de la ACI distal o de las ramas proximales de la ACM hizo que el número de pacientes no fuera mayor. Teniendo esto en cuenta, se utilizó un método de muestreo recomendado para estudios de baja *n* (LOOCV). Es necesario reclutar más pacientes para aumentar el tamaño de la muestra e incluir otros grupos de pacientes no analizados en el presente artículo.

La determinación de la etiología del ictus isquémico agudo es crucial para un manejo de prevención secundaria precoz y eficaz²³. La clasificación de un ictus como lacunar o de etiología infrecuente mediante los criterios TOAST está bien protocolizada. Sin embargo, en los casos de etiología cardioembólica y aterotrombótica, los límites pueden estar menos claramente definidos, lo que da lugar a que un número significativo de pacientes sean etiquetados como de «etiología indeterminada» debido a que cumplen criterios de ambos grupos etiológicos. En otros casos, la información para determinar la etiología sólo está disponible días después del evento agudo del ictus, lo que conlleva un retraso en la identificación de la causa del mismo. La intención de este estudio es utilizar la radiómica para proporcionar información adicional en esta clasificación etiológica, que podría ayudar a clasificar a los pacientes que cumplen los criterios de ambos grupos etiológicos, o cuya etiología se ha estudiado de forma incompleta (clasificados como «indeterminados» según los criterios TOAST). Además de esto, estudios publicados sugieren que los trombos de origen aterotrombótico y cardioembólico tienen composiciones biomoleculares diferentes^{5,6}, y también existe estudios acerca del aspecto radiológico que evidencian que éste también puede variar en función de la etiología del trombo^{7,8}. El presente estudio supone una contribución significativa a la literatura existente al demostrar que esa diferencia biomolecular se traslada a la imagen radiológica, dado que las características radiómicas de los trombos cardiogénicos también difieren de las de los trombos aterotrombóticos. Estos hallazgos pueden ayudar a diagnosticar a tiempo y con precisión la etiología del ictus en estos pacientes.

En conclusión, el presente artículo respalda que los datos radiómicos variarán en función de la etiología del trombo. Esto aporta datos significativos que pueden facilitar la clasificación de la etiología del ictus isquémico agudo.

CONCLUSIONES

Las características radiómicas pueden ayudar a clasificar la etiología del ictus isquémico agudo en etiología cardioembólica o aterotrombótica, con el consiguiente beneficio en el manejo de estos pacientes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Díez-Tejedor E, editor. Guía para el diagnóstico y tratamiento del ictus. 3ª ed. Barcelona: Prous Science; 2006. ISBN: 84-8124-225-X.
2. Organización Mundial de la Salud. Stroke, cerebrovascular accident [Internet]. Ginebra: Organización Mundial de la Salud; 2024 [citado 15 de febrero de 2024]. Disponible en: <https://www.emro.who.int/health-topics/stroke-cerebrovascular-accident/index.html>
3. Centers for Disease Control and Prevention. Stroke [Internet]. Atlanta: Centers for Disease Control and Prevention; 2024 [citado 8 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://www.cdc.gov/stroke/>
4. Adams HP Jr, Bendixen BH, Kappelle LJ, Biller J, Love BB, Gordon DL, et al. Classification of subtype of acute ischemic stroke. Definitions for use in a multicenter clinical trial. TOAST. Trial of Org 10172 in Acute Stroke Treatment. Stroke. 1993;24(1):35-41. <https://doi.org/10.1161/01.STR.24.1.35>
5. Fitzgerald S, Rossi R, Mereuta OM, Jabrah D, Okolo A, Douglas A, et al. Per-pass analysis of acute ischemic stroke clots: impact of stroke etiology on extracted clot area and histological composition. J Neurointerv Surg. 2021;13(12):1111-1116. <https://doi.org/10.1136/neurintsurg-2020-016966>
6. Jabrah D, Rossi R, Molina S, Douglas A, Pandit A, McCarthy R, et al. White blood cell subtypes and neutrophil extracellular traps content as biomarkers for stroke etiology in acute ischemic stroke clots retrieved by mechanical thrombectomy. Thromb Res. 2024;234:1-8. <https://doi.org/10.1016/j.thromres.2023.12.005>
7. Hund HM, Boodt N, Hansen D, Haffmans WA, van der Lugt A, van Oostenbrugge RJ, et al. Association between thrombus composition and stroke etiology in the MR CLEAN Registry biobank. Neuroradiology. 2023;65(5):933-943. <https://doi.org/10.1007/s00234-023-03115-y>
8. Schartz D, Akkipeddi SMK, Chittaranjan S, Rahmani R, Gunturi A, Ellens N, et al. CT hyperdense cerebral artery sign reflects distinct proteomic composition in acute

- ischemic stroke thrombus. *J Neurointerv Surg.* 2023;15(12):1264-1268.
<https://doi.org/10.1136/jnis-2022-019937>
9. Boodt N, Compagne KCJ, Dutra BG, Treurniet KM, Tolhuisen ML, Yoo AJ, et al. Stroke etiology and thrombus computed tomography characteristics in patients with acute ischemic stroke: a MR CLEAN Registry substudy. *Stroke.* 2020;51(6):1727-1735.
<https://doi.org/10.1161/STROKEAHA.119.027749>
 10. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology.* 2016;278(2):563-577. <https://doi.org/10.1148/radiol.2015151169>
 11. Porto-Álvarez J.; Mosqueira, A.; Martínez Fernández, J.; et al. How Can Radiomics Help the Clinical Management of Patients with Acute Ischemic Stroke? *Appl. Sci.* 2023;13;10061. <https://doi.org/10.3390/app131810061>
 12. Chen Y, He Y, Jiang Z, Xie Y, Nie S. Ischemic stroke subtyping method combining convolutional neural network and radiomics. *J Xray Sci Technol.* 2023;31(2):223-235.
<https://doi.org/10.3233/XST-221284>
 13. Jiang J, Wei J, Zhu Y, Wei L, Wei X, Tian H, et al. Clot-based radiomics model for cardioembolic stroke prediction with CT imaging before recanalization: a multicenter study. *Eur Radiol.* 2023;33(2):970-980. <https://doi.org/10.1007/s00330-022-09116-4>
 14. Lambin P, Leijenaar RTH, Deist TM, Peerlings J, de Jong EEC, van Timmeren J, et al. Radiomics: the bridge between medical imaging and personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 2017;14(12):749-762. <https://doi.org/10.1038/nrclinonc.2017.141>
 15. Kocak B, Baessler B, Bakas S, Cuocolo R, Fedorov A, Maier-Hein L, et al. CheckList for EvaluAtion of Radiomics research (CLEAR): a step-by-step reporting guideline for authors and reviewers endorsed by ESR and EuSoMII. *Insights Imaging.* 2023;14(1):75. <https://doi.org/10.1186/s13244-023-01415-8>
 16. Kim JS. tPA Helpers in the Treatment of Acute Ischemic Stroke: Are They Ready for Clinical Use? *J Stroke.* 2019;21(2):160-174. <https://doi.org/10.5853/jos.2019.00584>
 17. Fedorov A, Beichel R, Kalpathy-Cramer J, Finet J, Fillion-Robin JC, Pujol S, et al. 3D Slicer as an image computing platform for the Quantitative Imaging Network. *Magn Reson Imaging.* 2012;30(9):1323-1341. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.05.001>
 18. IBM Corp. Released 2012. IBM SPSS Statistics for Windows, Version 21.0. Armonk, NY: IBM Corp.
 19. Demšar J, Curk T, Erjavec A, Gorup C, Hocevar T, Milutinovic M, et al. Orange: Data Mining Toolbox in Python. *J Mach Learn Res.* 2013;14:2349-2353. [citado 8 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://jmlr.org/papers/v14/demsar13a.html>
 20. Scikit-learn [Internet]. París, Francia: INRIA. Modelos de redes neuronales supervisadas. [citado 8 de febrero de 2025]. Disponible en: https://scikit-learn.org/stable/modules/neural_networks_supervised.html

21. Fernández-Delgado M, Cernadas E, Barro S, Amorim D. Do we need hundreds of classifiers to solve real world classification problems? *J Mach Learn Res.* 2014;15:3133-3181. Disponible en: <https://jmlr.org/papers/v15/delgado14a.html>
22. Machine Learning Mastery [Internet]. Vermont, Australia: Guiding Tech Media; [Agosto 2020; 6 enero 2025]. [citado 8 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://machinelearningmastery.com/LOOCV>.
23. Kleindorfer DO, Towfighi A, Chaturvedi S, Cockcroft KM, Gutierrez J, Lombardi-Hill D, et al. 2021 Guideline for the Prevention of Stroke in Patients With Stroke and Transient Ischemic Attack: A Guideline From the American Heart Association/American Stroke Association. *Stroke.* 2021;52(7):e364-e467. <https://doi.org/10.1161/STR.0000000000000375>

ANÁLISIS DEL PAPEL DE LAS REDES SOCIALES COMO HERRAMIENTA DOCENTE EN MEDICINA

Nerea Sánchez Varela¹, Iria Barreiro Vázquez², Miguel Souto Bayarri³, Juan Antonio Suárez Quintanilla⁴
¹Médica de Familia. Doctoranda por la Universidad de Santiago de Compostela (USC); ²Graduada en Medicina por la Universidad de Santiago de Compostela (USC); ³Departamento de Radiología. Facultad de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela (USC); ⁴Departamento de Ciencias Morfológicas. Facultad de Medicina. Universidad de Santiago de Compostela (USC).
nerea.sanchez.varela@sergas.es; iria.barreiro.vazquezrai.usc.es; miguel.souto.bayarri@sergas.es; juanantoni.suarez.quintanilla@usc.es

RESUMEN

Análisis de la valoración de los estudiantes de medicina de la Universidad de Santiago de Compostela sobre el uso de redes sociales como herramienta docente complementaria en su formación. Mediante un cuestionario (n=406), se indagó sobre frecuencia de uso, tipos de contenido, motivaciones, ventajas e inconvenientes percibidos y la fiabilidad de las fuentes. Los resultados muestran que el 97.54% de los estudiantes usa redes sociales como recurso educativo, principalmente YouTube (85.10%), Instagram (72.98%) y TikTok (53.28%). Las ventajas más destacadas son la accesibilidad y la naturaleza visual del contenido, mientras que los principales inconvenientes son la falta de fiabilidad de las fuentes y la posible distracción. Un 85.96% de los estudiantes apoya potenciar el uso de redes sociales en la docencia, especialmente con vídeos cortos e imágenes. Se concluye que, aunque el uso de redes sociales es bien valorado, es necesario realizar más estudios sobre su efectividad en el aprendizaje.

INTRODUCCIÓN

La llegada de la era digital en el siglo XXI, impulsada por el nacimiento de Internet y las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC), ha transformado radicalmente diversas áreas de nuestra sociedad, entre ellas la educación. Las redes sociales (RRSS), en particular, se han consolidado como una de las herramientas más poderosas de esta revolución, ofreciendo plataformas de interacción y colaboración en tiempo real entre millones de usuarios. A través de estas plataformas, los individuos ya no son solo consumidores de información, sino también productores, lo que permite una participación activa en la creación y difusión de contenido¹.

La popularidad de las RRSS ha crecido exponencialmente desde la creación de Facebook en 2004, y hoy en día más del 60% de la población mundial está registrada en alguna red social, lo que refleja su influencia global². Además, el uso intensivo de plataformas como TikTok y YouTube ha demostrado que las redes sociales no solo sirven como medios de entretenimiento, sino también como espacios de aprendizaje, reflexión y colaboración.

Este fenómeno no se limita solo al ámbito personal o de ocio, sino que ha encontrado un importante terreno en el campo de la salud. Las redes sociales se han convertido en una herramienta clave para la divulgación de información relacionada con el bienestar^{3,4}, la prevención de enfermedades y la promoción de hábitos saludables⁵, alcanzando a un público más amplio y diverso⁶. Este mismo potencial puede ser aprovechado en el contexto académico, especialmente en la educación médica. Las redes sociales ofrecen nuevas formas de aprendizaje, colaboración y comunicación que complementan los métodos tradicionales de enseñanza en las instituciones educativas⁷.

A pesar de sus ventajas, el uso de las redes sociales como herramienta docente aún enfrenta resistencia por parte de muchos educadores^{8,9}. Sin embargo, su implementación en la enseñanza, especialmente en el campo de la medicina, podría fomentar un aprendizaje más activo y participativo, mejorar la comunicación entre estudiantes y profesores, y facilitar el acceso a **RECURSOS** educativos de calidad^{10,11}. Un enfoque adecuado para integrar estas plataformas en los programas académicos podría transformar el panorama educativo, abriendo nuevas oportunidades para la enseñanza de la medicina en la era digital.

OBJETIVOS

Como se ha señalado previamente, los métodos de enseñanza han tenido que adaptarse al contexto actual, incorporando los avances de las TIC a una educación transformada. El uso de recursos en línea para complementar la formación académica es ya una práctica consolidada; sin embargo, la integración de otras herramientas, que han demostrado su eficacia en diferentes áreas de la medicina, como las redes sociales, sigue siendo incipiente y variable en su aplicación.

Según estudios recientes, los jóvenes entre 16 y 24 años dedican en promedio 2,45 horas diarias a las redes sociales, y un 34,5% de ellos emplea estas plataformas principalmente para buscar contenido, como videos o artículos². Además, se ha observado, a través de la retroalimentación recibida, que el contenido médico en redes sociales resulta atractivo para los usuarios, ya sea por su capacidad para desglosar la información en fragmentos digeribles,

por su potencial para reforzar conceptos o por su rol en la reinención de la enseñanza, acercándola a un público exigente como los llamados "nativos digitales".

El presente estudio tiene como objetivo principal explorar las percepciones de los estudiantes de Medicina de la Universidad de Santiago de Compostela (USC) sobre la posible utilidad de las redes sociales en el ámbito educativo. Los objetivos específicos de la investigación son los siguientes:

- Determinar el tiempo que los estudiantes dedican a las redes sociales con fines didácticos.
- Investigar qué tipo de red social y contenido se utiliza para el aprendizaje médico.
- Evaluar el grado de utilidad percibido de las redes sociales y sus objetivos dentro de la docencia médica.
- Analizar las fuentes de información que los estudiantes consideran más confiables.
- Examinar las posibles ventajas y desventajas de emplear redes sociales como herramientas educativas.
- Explorar el potencial de las redes sociales como recursos de enseñanza en la educación médica futura, analizando su posible expansión, los tipos de contenido más relevantes y las áreas del conocimiento que más se beneficiarían de su uso.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se trató de un estudio descriptivo y transversal, estructurado en dos fases principales:

1. **Elaboración del Cuestionario:** Se diseñó un cuestionario utilizando la plataforma Google Forms, compuesto por 15 preguntas (Figura 1). El cuestionario abarcó los siguientes aspectos:
 - a. Consentimiento para la Participación: Se incluyó una pregunta inicial para obtener la conformidad de los participantes en relación con la utilización de los datos para la elaboración de trabajos científicos (Pregunta 1).
 - b. Datos Demográficos: Se recogieron datos sobre las características demográficas de los participantes, tales como edad y género (Preguntas 2 y 3).
 - c. Uso de Redes Sociales con Fines Educativos: Se indagó sobre el uso de redes sociales como recurso educativo complementario, así como las plataformas utilizadas, el tipo de contenido consumido, la frecuencia de uso, los fines de uso y las fuentes de información empleadas (Preguntas 4, 5, 6, 7, 8 y 12).
 - d. Valoración del Recurso: Se incluyó un apartado para que los estudiantes valoraran de manera general la utilidad de las redes sociales en la educación médica, así como sus ventajas y desventajas (Preguntas 9, 10, 11 y 15).

- e. Deseo de Potenciación: Se preguntó sobre el interés de los estudiantes en la potenciación de este recurso educativo y el tipo de contenido que preferirían (Preguntas 13 y 14).
2. **Recopilación de Datos:** El cuestionario fue distribuido mediante los grupos de WhatsApp de los distintos cursos de la carrera de Medicina y durante las clases presenciales. Se obtuvieron un total de 416 respuestas anónimas. Tras la revisión de las respuestas, se excluyeron los datos de 9 participantes debido a que no respondieron adecuadamente a las preguntas o sus respuestas fueron incongruentes, y los datos de 1 persona que no consintió el uso de la información para fines científicos. Por lo tanto, la muestra final consistió en 406 respuestas válidas (n=406).

Los datos obtenidos fueron procesados utilizando el software estadístico Epidat 4.2. Inicialmente, se realizó un análisis descriptivo de las frecuencias y porcentajes de las respuestas. Posteriormente, se evaluó la influencia de las variables de género y edad en los resultados mediante tablas de contingencia y el test de chi-cuadrado, con un nivel de significación de 0,05. Para este análisis se empleó el programa estadístico R.

TABLA I. PREGUNTAS Y RESPUESTAS DEL CUESTIONARIO

Tiempo de progresión	Etiologías comunes
1. ¿Das consentimiento para el uso de las respuestas recogidas en este formulario para la elaboración de trabajos científicos? <i>(respuesta única y obligatoria)</i>	-Sí -No
2. Género <i>(respuesta única y obligatoria)</i>	-Hombre -Mujer -No binario
3. Edad <i>(respuesta única y obligatoria)</i>	-Menos de 20 -Entre 20 y 22 -23 o más
4. ¿Usas o has usado en algún momento las redes sociales como recurso educativo complementario? <i>(respuesta única y obligatoria)</i>	-Sí -No
5. Si la respuesta es afirmativa, ¿cuáles has usado? <i>(respuesta múltiple y opcional)</i>	-Facebook -Instagram -Tik Tok -YouTube -X (anteriormente Twitter) -WhatsApp/Telegram -Otros
6. ¿Qué tipo de contenido sueles consumir con este fin? <i>(respuesta múltiple y opcional)</i>	-Podcasts -Vídeos largos/documentales -Vídeos cortos -Imágenes/ imágenes + texto resumen -Textos/hilos explicativos -Preguntas/cuestionarios con explicación -Otros

7. ¿Con qué frecuencia sueles consumir este tipo de contenido? (<i>respuesta única y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Todos los días -Varias veces por semana -Una vez por semana -Una vez al mes -Solo en épocas de exámenes -No las uso
8. ¿Con qué finalidad les has dado más uso? (<i>respuesta única y opcional</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Reforzar material estudiado -Adquisición de nuevos conocimientos -Consultar dudas -Otro
9. ¿Te parecen una herramienta útil en la docencia? (<i>respuesta única y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Muy útil -Útil -Regular -Poco útil -Nada útil
10. ¿Qué ventajas crees que podría tener el uso de las redes sociales como herramienta docente complementaria? (<i>respuesta múltiple y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Fácil accesibilidad -Información más visual y dinámica -Mayor interactividad -Material de apoyo a contenido estudiado -Visión práctica de la teoría estudiada -No creo que tenga ninguna ventaja -Otro
11. ¿Qué inconvenientes crees que podría tener el uso de las redes sociales como herramienta docente complementaria? (<i>respuesta múltiple y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Fuentes poco fiables o contenido inapropiado -Potencial dependencia -No accesibilidad para todo el mundo -Pérdida de tiempo o distracción -Potencial fuente de acoso/bullying -No creo que tenga ningún inconveniente -Otro
12. Si has usado las redes con este fin, ¿de qué tipo de creador de contenido provenía la información? (<i>respuesta múltiple y opcional</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Personal sanitario (Medicina, Enfermería, Farmacia, Odontología, Fisioterapia...) -Profesores universitarios/Profesionales dedicados a la investigación -Estudiantes de grados relacionados con el ámbito de la salud -Personal no sanitario -Desconozco la fuente
13. ¿Te gustaría que se potenciase el uso de las redes sociales como herramienta complementaria en la docencia a través de fuentes fiables? (<i>respuesta única y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Sí -No -Me es indiferente
14. De ser el caso, ¿qué tipo de contenido te gustaría que se potenciase? (<i>respuesta múltiple y opcional</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Vídeos largos/documentales -Vídeos cortos -Imágenes/ imágenes + texto resumen -Textos/hilos explicativos -Podcasts -Preguntas/cuestionarios con explicación -Otros
15. ¿Para qué área/s del conocimiento de la carrera te parecen más útiles? (<i>respuesta múltiple y obligatoria</i>)	<ul style="list-style-type: none"> -Morfología, estructura y función del cuerpo humano (ejemplos: Bioquímica, Fisiología, Anatomía y esplanología, ATI...). -Medicina social, habilidades de comunicación e iniciación a la investigación (ejemplos: Bioestadística, Epidemiología, Preventiva, Ética, Medicina Legal, Comunicación...). -Formación clínica humana -Procedimientos diagnósticos y terapéuticos (Microbiología, Farmacología, Anatomía Patológica, Radiología...)

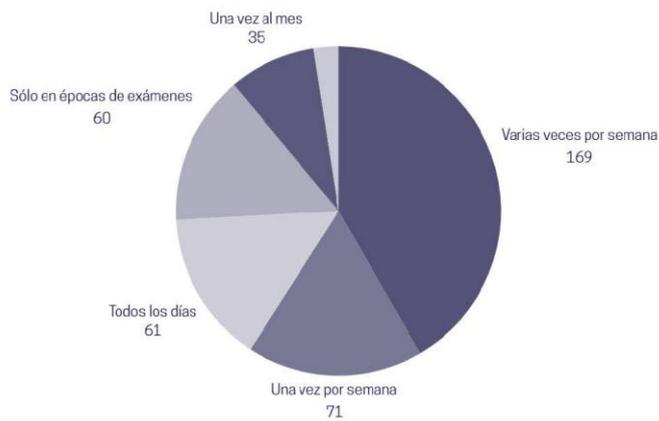
RESULTADOS

El estudio consta de una muestra de 406 personas encuestadas (n=406), en la que predominan las 306 respuestas femeninas (n=306, 75.37%), a las que les siguen las 97 masculinas (n=97, 23.89%) y las 3 (n=3, 0.74%) procedentes de personas de género no binario. En cuanto a la edad, la mayoría presentaban entre 20 y 22 años (n=170, 41.87%). El 29.56% eran personas menores de 20 años (n=120) y el 28.57% presentaban 23 años o más (n=116).

La mayoría de los estudiantes confiesa utilizar las redes como recurso didáctico complementario (97.54%) al menos una vez por semana (74.14%) (Figura 1). Estos resultados son independientes tanto del género de la persona encuestada (p-valor=0.470 y p-valor=0.139) como de su edad (p-valor=0.225 y p-valor=0.706) al no hallar diferencias estadísticamente significativas.

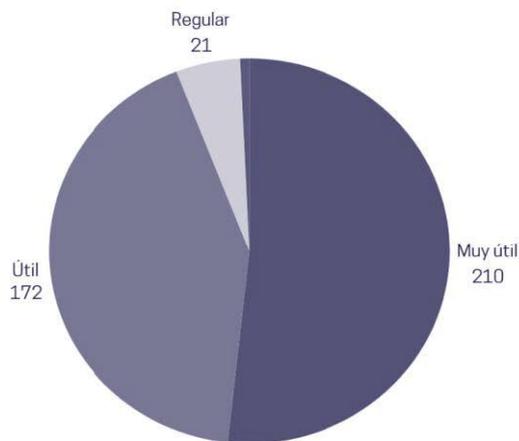
El 94.08% consideran las RRSS un recurso útil o muy útil (Figura 2), sobre todo para la adquisición de nuevos conocimientos (39.90%) (Figura 3). Comprobando la relación entre la finalidad de uso de las RRSS en la docencia y el género y edad de los alumnos se encontraron diferencias estadísticamente significativas (p-valor<0.05), tanto entre la finalidad de uso y el género (p-valor=0.009) como entre la finalidad y la edad (p-valor=0.038). Los valores de los coeficientes de contingencia (CC) son 0.236 y 0.215 respectivamente, lo que permite definir un grado de asociación bajo. Ocurre lo mismo al analizar la finalidad de las RRSS en docencia, donde también existen diferencias estadísticamente significativas tanto con la edad del participante del estudio (p-valor=0.018, CC=0.190, grado de asociación muy bajo) como con el género (p-valor=0.003, CC=0.215, grado de asociación bajo), por lo que la opinión sobre su utilidad depende ligeramente de estas variables.

YouTube (85.10%), Instagram (72.98%) y TikTok (53.28%) son las redes sociales preferidas para el aprendizaje médico (Figura 4) y los vídeos cortos (92.17%), las imágenes (79.55%) y los textos o hilos explicativos (44.70%), el contenido favorito para ello, sobre todo proveniente de personal sanitario (91.16%) (Figura 5). Al realizar el análisis estadístico nos encontramos con que no hay diferencias significativas ni con el género (p-valor=0.472 y p-valor=0.635) ni con la edad (p-valor=0.175 y p-valor=0.180), por lo que estas variables son independientes tanto para la elección de la red social como del contenido de consulta.



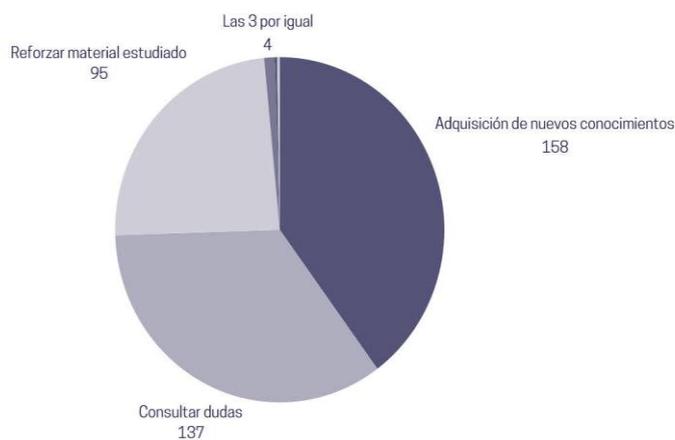
Frecuencia de uso	Frecuencia	Porcentaje aparente
Varias veces por semana	169	41.63%
Una vez por semana	71	17.49%
Todos los días	61	15.02%
Sólo en épocas de exámenes	60	14.78%
1 vez al mes	35	8.62%
No las uso	10	2.46%

Figura 1. Frecuencia de uso de RRSS con finalidad educativa.



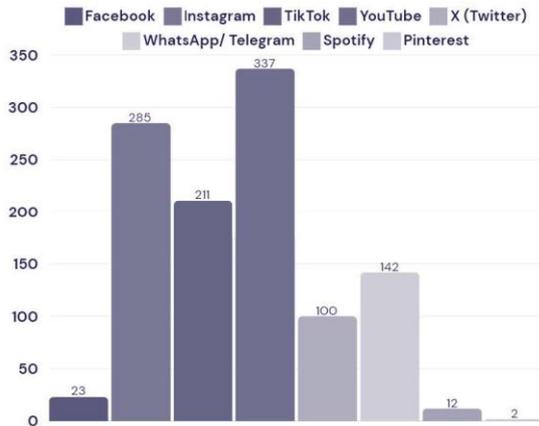
Utilidad	Frecuencia	Porcentaje aparente
Muy útil	210	51.72%
Útil	172	42.36%
Regular	21	5.17%
Poco útil	3	0.74%
Nada útil	0	0%

Figura 2. Utilidad subjetiva de las RRSS como herramienta docente.



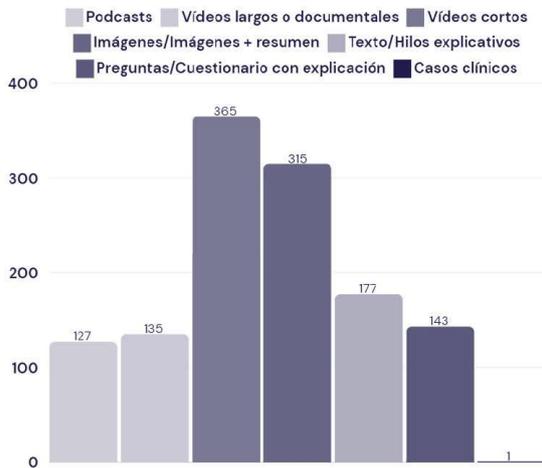
Finalidad de uso	Frecuencia	Porcentaje aparente
Adquisición de nuevos conocimientos	158	39.90%
Consultar dudas	137	34.60%
Reforzar material estudiado	95	23.99%
Todas por igual	4	1.01%
"Curiosidad"	1	0.25%
En blanco	1	0.25%

Figura 3. Finalidad del uso de las RRSS como herramienta docente complementaria.



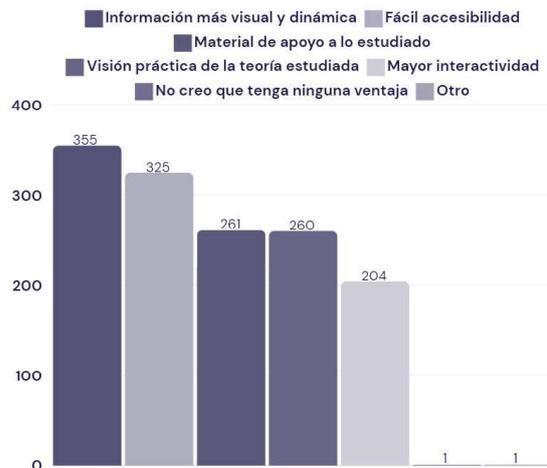
Red social	Frecuencia	Porcentaje aparente
Facebook	23	5.81%
Instagram	285	72.98%
TikTok	211	53.28%
YouTube	337	85.10%
X (Twitter)	100	25.25%
WhatsApp/Telegram	142	35.86%
Spotify	12	3.03%
Pinterest	2	0.51%

Figura 4. RRSS utilizadas por los participantes con fines educativos.



Contenido	Frecuencia	Porcentaje aparente
Podcasts	127	32.07%
Vídeos largos/ Documentales	135	34.09%
Vídeos cortos	365	92.17%
Imágenes/ Imágenes + texto resumen	315	79.55%
Textos/ Hilos explicativos	177	44.70%
Preguntas/ Cuestionario con explicación	143	36.11%
Casos clínicos	1	0.25%

Figura 5. Contenido consumido en RRSS con finalidad educativa.



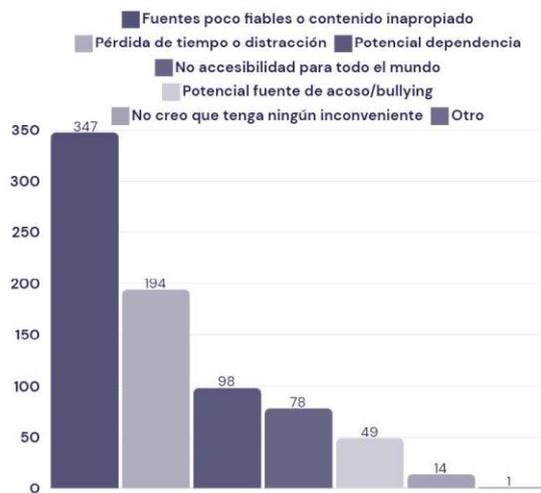
Ventajas	Frecuencia	Porcentaje aparente
Información más visual y dinámica	355	87.44%
Fácil accesibilidad	325	80.05%
Material de apoyo a lo estudiado	261	64.29%
Visión práctica de la teoría estudiada	260	64.04%
Mayor interactividad	204	50.25%
Ninguna ventaja	1	0.25%
Otro	1	0.25%

Figura 6. Ventajas atribuidas a las RRSS como herramienta docente.

La principal ventaja percibida derivada de su uso es el acceso a una información más visual y dinámica (87.44%) y fácilmente accesible (80.05%) (Figura 6) y como inconvenientes destacan las fuentes poco fiables o contenido inapropiado (85.47%) y la pérdida de tiempo o distracción (47.78%) (Figura 7). Al comprobar la relación de estas preguntas con el género no encontramos una diferencia estadísticamente significativa (p -valor=0.991 y p -valor=0.264), de igual manera que si lo comparamos con la edad (p -valor=0.829 y p -valor=0.887) y por tanto las respuestas son independientes de ambos criterios.

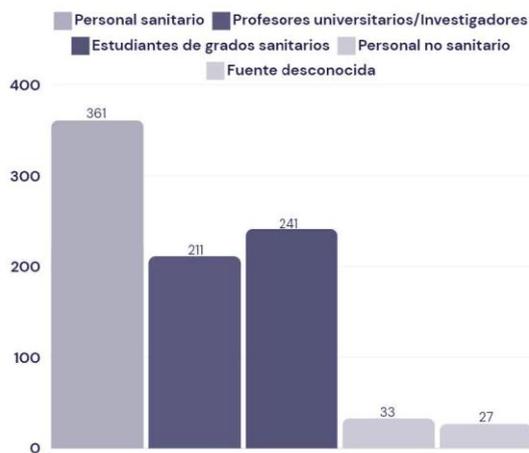
Atendiendo a las fuentes de las 396 personas que utilizan las redes como recurso adicional a la enseñanza tradicional vemos cómo predomina claramente el consumo de la información originaria de “Personal sanitario (Medicina, Enfermería, Farmacia, Odontología, Fisioterapia...)” con un 91.16% ($n=361$), seguido en popularidad el contenido creado por “Estudiantes de grados relacionados con el ámbito de la salud” con un 60.86% de respuestas ($n=241$) y el de “Profesores universitarios/Profesionales dedicados a la Investigación” con un 53.28% ($n=211$) (Figura 8). No hallamos tampoco diferencias significativas si estratificamos los resultados por edad (p -valor=0.859) o género (p -valor=0.55), por lo que la fuente empleada es independiente de ambas variables.

El 85.96% se posiciona a favor de la potenciación de esta herramienta como recurso didáctico a través de vídeos cortos (86.45%), imágenes (71.92%) y preguntas o cuestionarios con explicación (41.63%) (Figura 9). Al hacer el análisis estadístico para ver la relación de las respuestas con el género y la edad de los encuestados nos encontramos que estos resultados son independientes de la edad de los participantes (p -valor=0.068, no significativo) pero dependientes del género (p -valor=1.828e-07) con un grado de asociación bajo ($CC=0.288$). Al preguntar a todos los alumnos participantes sobre qué área del conocimiento se vería más beneficiada de la utilización de RRSS como complemento, el 82.27% ($n=334$) cree que las redes serían más útiles en el área de “Morfología, estructura y función del cuerpo humano”, seguida del 59.11% ($n=240$) que también les ven función en el campo de los “Procedimientos diagnósticos y terapéuticos” y el 54.93% ($n=222$) en el campo de la “Formación clínica humana” (Figura 10). Estas respuestas son independientes tanto del género (p -valor=0.888) como de la edad (p -valor=0.604) al no hallar diferencias estadísticamente significativas.



Inconvenientes	Frecuencia	Porcentaje aparente
Fuentes poco fiables o contenido inapropiado	347	85.47%
Pérdida de tiempo o distracción	194	47.78%
Potencial dependencia	98	24.14%
No accesibilidad para todo el mundo	78	19.21%
Potencial fuente de acoso/bullying	49	12.07%
Ningún inconveniente	14	3.45%
Otro	1	0.25%

Figura 7. Inconvenientes atribuidos a las RRSS como herramienta docente.



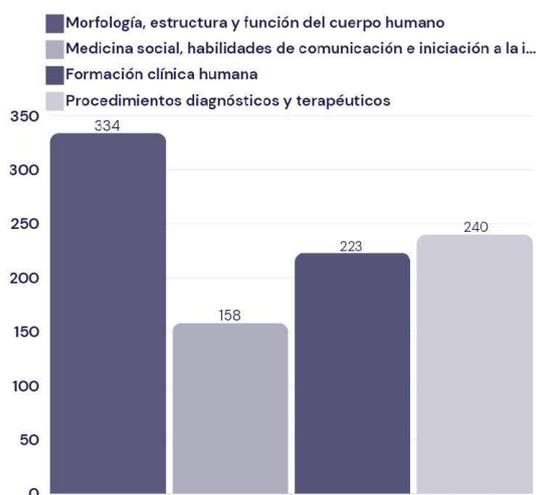
Fuentes	Frecuencia	Porcentaje aparente
Personal sanitario	367	91.16%
Profesores universitarios/ Investigadores	215	53.28%
Estudiantes de grados sanitarios	245	60.86%
Personal no sanitario	33	8.33%
Fuente desconocida	27	6.82%

Figura 8. Fuentes de los usuarios de RRSS con fines educativos.



Contenido que les gustaría potenciar	Frecuencia	Porcentaje aparente
Podcasts	133	32.76%
Vídeos largos/ Documentales	83	20.44%
Vídeos cortos	351	86.45%
Imágenes/ Imágenes + texto resumen	292	71.92%
Textos/ Hilos explicativos	128	31.53%
Preguntas/ Cuestionario con explicación	169	41.63%
En blanco	18	4.43%

Figura 9. Contenido que a los estudiantes les gustaría que se potenciase para la docencia médica a través de fuentes fiables.



Áreas del conocimiento que se beneficiarían de las RRSS	Frecuencia	Porcentaje aparente
Morfología, estructura y función del cuerpo humano	334	82.27%
Medicina social, habilidades de comunicación e iniciación a investigación	158	38.92%
Formación clínica humana	223	54.93%
Procedimientos diagnósticos y terapéuticos	240	59.11%

Gráfico 10 y Tabla 10. Áreas del conocimiento que se beneficiarían del uso de las RRSS como herramienta docente.

CONCLUSIONES

1. Los resultados obtenidos en este estudio indican que las redes sociales tienen un impacto significativo como herramienta docente en la formación de los estudiantes de Medicina de la Universidad de Santiago de Compostela (USC). La gran mayoría de los participantes (97.54%) ha utilizado o utiliza las redes sociales como complemento de la docencia tradicional, lo que refleja una alta aceptación de estas plataformas como recurso educativo.
2. Los principales motivos para el uso de las redes sociales en el ámbito académico incluyen la adquisición de nuevos conocimientos (39.90%) y la resolución de dudas (34.60%). Estos resultados están estrechamente relacionados con la frecuencia de uso, la valoración de utilidad y la finalidad específica de su uso, lo que destaca la importancia de adaptar las redes sociales a las necesidades educativas de los estudiantes. Las plataformas más populares entre los estudiantes fueron YouTube (85.10%), Instagram (72.98%) y TikTok (53.28%), con una clara preferencia por el contenido audiovisual, en particular los vídeos cortos (92.17%), las imágenes con o sin resúmenes (79.55%) y los textos explicativos (44.70%).
3. La valoración general sobre la utilidad de las redes sociales en la educación fue muy positiva, con un 94.08% de los estudiantes considerándolas útiles o muy útiles. Este juicio positivo podría estar asociado con el género, la edad, la frecuencia de uso y el tipo de contenido consumido, lo que sugiere que los estudiantes más jóvenes y aquellos que utilizan las redes sociales de manera más frecuente tienden a valorar más positivamente

su utilidad. Los principales beneficios percibidos fueron el acceso a información visual y dinámica (87.44%) y la facilidad de acceso a los contenidos (80.05%). No obstante, también se identificaron ciertos inconvenientes, como la presencia de fuentes poco fiables (85.47%) y la distracción o pérdida de tiempo (47.78%), lo que subraya la necesidad de garantizar la calidad y fiabilidad de los contenidos utilizados.

4. En relación con las fuentes de información, los estudiantes confirman que la principal fuente de contenido educativo proviene de profesionales sanitarios (91.16%), seguidos por estudiantes de otros grados sanitarios (60.86%) y profesores universitarios (53.28%). Sin embargo, un pequeño porcentaje (6.82%) desconoce el origen del contenido que consume, lo que resalta la importancia de promover la transparencia en las fuentes.
5. La gran mayoría de los estudiantes (85.96%) se mostró favorable a la potenciación de las redes sociales como herramienta docente, siempre que se utilicen fuentes fiables, con una clara preferencia por contenidos como vídeos cortos (86.45%) y imágenes con o sin resúmenes (71.92%). Además, los estudiantes consideran que áreas como la Morfología, la estructura y función del cuerpo humano (82.27%) serían las más beneficiadas por el uso de estas herramientas, seguido por los Procedimientos diagnósticos y terapéuticos (59.11%) y la Formación clínica humana (54.93%).
6. En conclusión, las redes sociales son una herramienta educativa prometedora, con un alto nivel de aceptación entre los estudiantes de Medicina. Sin embargo, para maximizar su potencial, es fundamental garantizar la fiabilidad de los contenidos y evitar las distracciones que estas plataformas pueden generar. Aunque la evidencia sobre su efectividad en el ámbito educativo está en aumento, aún se requiere de más investigaciones analíticas que exploren los resultados de su implementación, con el fin de optimizar su uso y contribuir a su integración efectiva en la enseñanza médica.

BIBLIOGRAFÍA

1. Valenzuela R. Las redes sociales y su aplicación en la educación. Rev Digit Univ [Internet]. 2013 [citado 19 de noviembre de 2024];14(4). Disponible en: <https://www.revista.unam.mx/vol.14/num4/art36/art36.pdf>
2. We Are Social. Digital 2024 [Internet]. 2024 [citado 24 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://wearesocial.com/uk/blog/2024/01/digital-2024>
3. Santeliz J. Redes sociales y promoción de la salud. Bol Méd Postgrado [Internet]. 2020;35(1):6. Disponible en: <https://revistas.uclave.org/index.php/bmp/article/view/2559>

4. Aladro-Gonzalvo AR. Las redes sociales en internet como herramienta para la promoción de la actividad física y la salud: un recurso poco explorado científicamente. *Pensar Mov* [Internet]. 2015;13(1):1-8. Disponible en: <https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/pem/article/view/17194>
5. Gálvez-González M. Diseño de una intervención digital entregada por WhatsApp para mejorar el seguimiento y la prevención de recaídas de las personas que han dejado de fumar en el contexto de un programa multicomponente. *Enferm Cuid*. 2023;6(1):110–125. <https://doi.org/10.51326/ec.6.3601578>.
6. Moyano D, Elorriaga N, Duque-Villa Y, Antún MC, González V, Belizán M, et al. Iniciativas de promoción de la salud destinadas a adultos jóvenes. Estudio cualitativo. *Rev Fac Cien Med Univ Nac Córdoba*. 2022;79(2):100-106. <https://doi.org/10.31053/1853.0605.v79.n2.32512>
7. Cheston CC, Flickinger TE, Chisolm MS. Social Media Use in Medical Education: A Systematic Review. *Acad Med*. 2013;88(6):893-901. <https://doi.org/10.1111/medu.14567>
8. Gómez-Aguilar M, Roses-Campos S, Farias-Battle P. El uso académico de las redes sociales en universitarios. *Comunicar*. 2011;38:131-138. <https://doi.org/10.3916/C38-2012-03-04>
9. González-Martínez J, Leixà M, Espunyi C. Las redes sociales y la educación superior: las actitudes de los estudiantes universitarios hacia el uso educativo de las redes sociales, de nuevo a examen. *EKS*. 2016;17(2):21-38. <https://doi.org/10.14201/eks20161722138>
10. Hollinderbäumer A, Hartz T, Uckert F. Education 2.0: how has social media and Web 2.0 been integrated into medical education? A systematic literature review. *GMS Z Med Ausbild*. 2013; 30(1): Doc14. <https://doi.org/10.3205/zma000857>
11. Guckian J, Utukuri M, Asif A, Burton O, Adeyoju J, Oumeziane A, et al. Social media in undergraduate medical education: A systematic review. *Med Educ*. 2021;55(11):1227-1241. <https://doi.org/10.1111/medu.14567>

PRÁCTICAS DE SIMULACIÓN EN LA ASIGNATURA RADIOLOGÍA II DE LA USC. DESCRIPCIÓN DE LOS SIMULADORES EMPLEADOS

Manuel García Cordeiro^{1*}, Carlos López Vila^{1*}, José Martín Carreira Villamor^{1,3}

¹Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Compostela (USC), Santiago de Compostela, España;

²Departamento de Radiología, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela (CHUS), Santiago de Compostela, España;

* Autores que han contribuido de igual manera a este trabajo.

manuel.garcia.cordeiro@rai.usc.es; carlos.lopez.vila@rai.usc.es; josemartin.carreira@usc.es

RESUMEN

El aprendizaje con simulación es un método muy eficaz de docencia para los estudiantes de medicina. En la asignatura de Radiología II de la Universidad de Santiago de Compostela, se organizaron unas prácticas dirigidas esencialmente al aprendizaje de la radiología intervencionista. El contenido de estas lecciones prácticas se expone en el presente trabajo.

La planificación se basó en la utilización de 6 simuladores simultáneamente, que representaban los siguientes procesos vasculares y ecográficos: una trombectomía mecánica aspirativa, una punción arterial mediante técnica de Seldinger, una retirada de trombos por arrastre con “stent retriever”, una liberación de materiales mediante estudios angiográficos, el proceso de extracción de trombo por trombectomía, una liberación de stents, un simulador de imagen ecográfica y un ejercicio de biopsia percutánea. Con estos modelos, los estudiantes pudieron integrar de forma práctica los contenidos impartidos en las clases de la asignatura, facilitando su estudio, comprensión y retención memorística. En este trabajo, nos proponemos dar a conocer los simuladores utilizados en las prácticas y los objetivos y experiencias que nos permitieron realizar.

INTRODUCCIÓN

Las prácticas clínicas se basan en la interacción de estudiantes con pacientes, siempre bajo la supervisión de un tutor. Esta forma de aprendizaje tiene grandes ventajas, pero también inconvenientes. Los simuladores abarcan cada vez más campos médicos y de otras disciplinas y cada vez están más perfeccionados reproduciendo situaciones cada vez más reales. La asignatura Radiología II de la Facultad de Medicina de la Universidad de Santiago incluye dentro de sus contenidos la parte de Radiología Intervencionista. Desde hace 4 años, se vienen realizando prácticas con simuladores e incluyendo en ellas a todo el estudiantado del

curso, en nuestro caso, alrededor de 370 estudiantes. Esta elevada cifra, condiciona la realización de esta actividad y también el número de simuladores que se necesitan para poder completar todo el proceso.

Una de las ventajas que tenemos es disponer de una instalación adecuada para poder programar una actividad de este estilo, que es el CESIS (Centro de Simulación Clínica Integral del Área Sanitaria de Santiago), si bien es cierto que, durante un periodo limitado de tiempo, y reservando el espacio con meses de antelación, dada la gran demanda que tiene durante todo el año.

Otro aspecto fundamental son los simuladores, en la actualidad existen sistemas para realizar prácticas de técnica radiológica que permiten hacer estudios sobre fantasmas, tanto de radiografías simples como TAC, otros se diseñan para realizar ecografías diagnósticas en torsos o en piezas que simulan mamas u otros órganos. También existen equipos para realizar prácticas de punciones ecodirigidas a múltiples niveles con simuladores tan ingeniosos como sencillos. En este trabajo, nos proponemos describir la funcionalidad de los simuladores utilizados en estas prácticas y los objetivos y experiencias que nos permitieron realizar.

CONTENIDO

De cara a desarrollar las prácticas de simulación planificadas para la asignatura Radiología II en la Universidad de Santiago de Compostela, se recurrió a simuladores de muy diversas características. Los modelos iban dirigidos mayoritariamente al aprendizaje de la radiología intervencionista, si bien es cierto que también había un simulador de ecografía simple. Se trabajó con un total de 8 simuladores (véase el resumen en la Tabla 1), cuyas explicaciones y dirección estaba guiada por expertos (en el caso de los modelos más complejos) o por los propios estudiantes tutores (que fueron formados para ello).

Los simuladores, se distribuyeron en cuatro salas: tres más pequeñas, cada una equipada con un solo simulador, y una sala más amplia que permitió la instalación de tres simuladores, además de un expositor de materiales empleados en radiología intervencionista.

Los simuladores fueron proporcionados por diferentes entidades colaboradoras, incluyendo empresas del sector, CESIS y la Facultad de Medicina. La coordinación con las casas comerciales representó uno de los principales desafíos en la organización de la actividad.

SIMULADOR 1 (TROMBECTOMÍA MECÁNICA ASPIRATIVA):

Este simulador es un “flow model” (Mercé V/Penumbra INC) de trombectomía mecánica aspirativa. Un “Flow model” simula un sistema vascular dinámico que representa fenómenos

hemodinámicos reales que permiten la puesta en práctica de intervencionismo vascular. El sistema es accionado mediante una bomba que genera flujo negativo para retirada de trombos intravasculares por aspiración mecánica directa a nivel de la arteria pulmonar, los troncos supraaórticos y otros, tras haber introducido un catéter previamente en la zona patológica. Durante la práctica se realizan aspiraciones de trombos fundamentalmente del circuito pulmonar (como representa la Fig. 1), siguiendo los siguientes pasos.

A. Acceso vascular

Se explica en primer lugar que la vía de acceso del catéter simula una punción arterial, que generalmente sería en la arteria femoral o radial.

B. Navegación hasta la oclusión

Los estudiantes pueden avanzar el catéter hasta la arteria pulmonar, de modo que avanza un catéter de aspiración de gran calibre hasta el punto de la oclusión.

C. Aspiración del trombo

Se conecta el catéter de aspiración a una bomba de vacío o jeringa de succión. Una vez posicionado a nivel del trombo, lo aspira del circuito pulmonar cuando se le aplica presión negativa al sistema desde el exterior, permitiendo la captura del trombo.

D. Verificación del flujo

Se retira el catéter y se explica que se haría una angiografía de control para confirmar la reperfusión.

SIMULADOR 2 (PUNCIÓN ARTERIAL Y ACCESO A ARTERIA RENAL):

Se trata de un aprendizaje transversal del tratamiento del paciente que necesite atención de las arterias viscerales, especialmente está orientado hacia la canalización de la arteria renal (angioplastia renal, embolización de aneurismas o nefrostomía percutánea). Este simulador representa más claramente lo que sería el paciente real, puesto que posee una parte de simulación de punción de una arteria braquial (Gaumard, Cesis), con latido, asociado a un simulador de cateterización de arterias viscerales, en este caso, se utiliza en concreto para cateterización de las arterias renales. La punción arterial se realiza mediante técnica de Seldinger con aguja tipo abbocat de 18 G y guía 0,035 Inch, utilizando la técnica Seldinger, tal y como representa la Fig. 2a.

Una vez cateterizada la arteria braquial, se hace avanzar el catéter hasta la aorta abdominal, para cateterizar selectivamente la arteria renal (Fig. 2b). El simulador de cateterización de arterias viscerales (mazeBox 0022, Logimed), diseñado para replicar con alta fidelidad la anatomía y hemodinámica de las arterias renales, tiene múltiples configuraciones anatómicas

y permite el uso de catéteres clínicos reales, con la posibilidad de liberar de diversos materiales como stents o dispositivos de embolización. Los estudiantes pudieron experimentar la sensación de hacer giros en las arterias coordinando la guía con el catéter y asociándolo posteriormente a la liberación de un stent.

Además, en una mesa adjunta a los simuladores en la sala de mayor tamaño, los estudiantes pueden valorar las características y mecanismos del distinto material utilizado en radiología intervencionista, observando los sistemas de medición que se utilizan (Inch, Gauge, French...) y su funcionamiento.

SIMULADOR 3 (RETIRADA DE TROMBOS CON “STENT RETRIEVER”):

Este simulador es un “flow model” (Cerenovus), está diseñado para la retirada de trombos de forma mecánica por arrastre con “stent retriever”, mediante aspiración y sistemas mixtos. Pese a que en algunos modelos de simulación se utilizan trombos artificiales, en nuestra práctica se utilizaron trombos naturales, lo que le dio un mayor realismo. Antes de comenzar la experiencia de imitación de trombectomía, se realiza una breve introducción sobre los diferentes tipos de trombos y una simulación de un ictus isquémico, con las diferentes opciones de tratamiento intravascular. Posteriormente se realizan procedimientos de retirada de trombos de forma mecánica por arrastre, con “stent retriever”, mediante aspiración y sistemas mixtos (Fig. 3), simulando los siguientes procesos:

- **Trombectomía con stent retriever:** se introduce el stent hasta la oclusión (generalmente indicado para trombos grandes y compactos) y se despliega en el trombo, hasta que este se adhiere al stent. Luego se retira el stent con el trombo atrapado.
- **Técnica de aspiración:** A través de un catéter de aspiración de gran calibre, se aplica presión negativa y se aspira el trombo (tal y como se expuso en el simulador 1).
- **Técnicas mixtas (stent retriever + aspiración):** se despliega el stent en el trombo y, mientras se retira, se aspira con un catéter guía. Es útil para reducir el riesgo de embolización distal.

SIMULADOR 4 (INTERVENCIONISMO CON FLUOROSCOPIA):

Se trata de un simulador Symbionix AngioMentor (Striker), que es un aparato de última generación que se basa en el uso de imagen fluoroscópica virtual, generando una experiencia realista e inmersiva (como se puede ver en la Fig.4). A través de un monitor, los estudiantes pueden observar el paso de los materiales en tiempo real, simulando una imagen angiográfica

que les permite controlar su avance, realizar estudios angiográficos y practicar la liberación de dispositivos endovasculares. Esto introduce a los estudiantes en el uso de la fluoroscopia como herramienta fundamental, y los familiariza con la lectura de imágenes angiográficas y con los procedimientos intervencionistas.

Además, el sistema posibilita la cateterización selectiva de distintos territorios arteriales como los troncos viscerales, supraaorticas y otros, con funcionalidad mecánica y visualización digital a través de un ordenador asociado al equipo. En este dispositivo se realizaron procedimientos de neuro intervencionismo como el coiling de aneurismas cerebrales, la trombectomía mecánica o la liberación de stents intracraneales. Los estudiantes podían realizar todo el proceso manejando los materiales y siguiendo su evolución a través de simulación de imagen fluoroscópica.

SIMULADOR 5 (TROMBECTOMÍA MECÁNICA):

Es un sistema "flow model" consistente en una reconstrucción realista del sistema vascular arterial, diseñado para la enseñanza y entrenamiento en procedimientos endovasculares. Este simulador incluye una proyección simultánea en un monitor, lo que permite el seguimiento de la técnica aplicada en el simulador en tiempo real, promoviendo que los estudiantes interaccionaran al mismo tiempo que se realizaba la técnica (véase Fig. 5).

Este simulador se utilizó para demostrar y entrenar el procedimiento de trombectomía mecánica, permitiendo a los estudiantes practicar la extracción de trombos de manera parecida a como venían haciendo en otros simuladores. Este simulador, permitía a los alumnos correlacionar la formación teórica acerca de la trombectomía mecánica con la práctica y el uso de dispositivos especializados.

Gracias a la proyección en pantalla grande, se logró un aprendizaje más dinámico y colaborativo, ya que todos los estudiantes pudieron observar los movimientos en detalle. Además, el simulador permitió la utilización de dispositivos endovasculares reales, asegurando una experiencia lo más cercana posible a la práctica clínica.

SIMULADOR 6 (LIBERACIÓN DE STENTS):

Es un sistema "flow model" (unitedbiologics, silicone vasculature flowtek 215, Balt) que fue utilizado para realizar prácticas de liberación de stents. Este simulador, complementado con la segunda parte del simulador 2, les permitió a los estudiantes comprender con una estructura básica la vinculación del cateterismo con la implantación de stents. De esta manera, los estudiantes avanzaban los materiales a través de la representación del vaso hasta

el punto elegido para realizar la liberación. Los “stents” utilizados eran autoexpandibles y, con vistas a ser reutilizados, no se liberaban en su totalidad. Además, este simulador permite ver y tocar materiales reales, así como realizar múltiples ejercicios de retiradas de trombos del sistema vascular (como muestra la Fig. 6).

SIMULADOR 7 (ECOGRAFÍA EN FANTOMA):

Se trata de un simulador de ecografía (Cae VIMEDIX, Cesis), que consta de un fantoma y un transductor conectados a un ordenador. Permite visualizar a la vez en el monitor, por un lado, la imagen ecográfica y por otro lado la correspondencia anatómica de la estructura observada en la imagen. Asimismo, permite observar diversas situaciones tanto normales como patológicas, existiendo la posibilidad de visualizar múltiples patologías cardíacas abdominales e incluso pélvicas. Los estudiantes, podían ver en primer lugar las estructuras normales del cuerpo, y situarse, gracias a la correspondencia anatómica, en los distintos órganos del cuerpo, para observar su forma y densidad en la imagen ecográfica. Una vez aprendida la estructura en la normalidad, se le podían añadir diversas patologías para que el alumno identificara las diferentes enfermedades que podían presentarse en la práctica diaria. Por último, este simulador permitía a los alumnos acercarse a la práctica médica, de manera que ellos mismos podían descubrir de forma activa si el caso presentado poseía o no una patología previamente escogida por el tutor y no revelada al alumno (véase Fig.7).

SIMULADOR 8 (BIOPSIA ECOGUIADA):

Se trata de un ejercicio de biopsia ecodirigida, desarrollado en el propio centro. Los materiales utilizados para este ingenioso simulador, fueron un sistema ecográfico convencional y un embutido con aceitunas en su interior. Este embutido desde el punto de vista ecográfico se comporta como un tejido humano, donde usando el sistema ecográfico como guía, se trata de hacer una biopsia dirigida a las aceitunas (de una ecogenicidad diferente, simulando nódulos) con sistema coaxial o simple.

Esta práctica le permite al alumnado practicar en la identificación de nódulos y en el uso de diferente material de biopsia, para tratar de puncionar los diferentes nódulos (aceitunas) y de esta manera ir mejorando su técnica.

Este simulador demuestra que no hace falta un gran presupuesto para realizar una práctica aproximada a la realidad, para que los que usen este simulador, mejoren su destreza manual y en el uso de los materiales usados en la realidad.

FIGURAS



Figura 1. Simulador de "Cerenovus"



Figura 2a. Simulador punción con técnica Seldinger



Figura 2b. Simulador de cateterización de arterias renales



Figura 3. Simulador de colocación de “stent retriever”



Figura 4. Simulador “Striker”



Figura 5. Simulador trombectomía mecánica

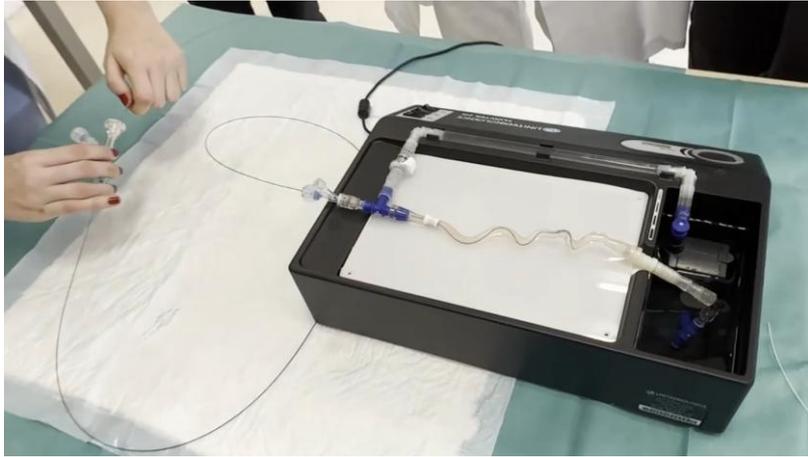


Figura 6. Simulador de liberación de stents



Figura 7. Simulador de ecografía



Figura 8. Simulador biopsia mortadela

TABLAS

TABLA I. RESUMEN DE LOS SIMULADORES

Simulador	Descripción
Simulador 1 (trombectomía mecánica aspirativa)	Sistema vascular dinámico para la práctica de trombectomía mecánica aspirativa mediante bomba de vacío.
Simulador 2 (punción arterial y acceso a arteria renal)	Cateterización de la arteria braquial y acceso por a la arteria renal.
Simulador 3 (retirada de trombos con “stent retriever”)	Retirada mecánica de trombos reales con “stent retriever”, mediante aspiración y sistemas mixtos
Simulador 4 (intervencionismo con fluoroscopia)	Familiarización con la fluoroscopia con posibilidad de cateterizar.
Simulador 5 (trombectomía mecánica)	Práctica de trombectomía mecánica con proyección simultánea en monitor.
Simulador 6 (liberación de stents)	Implantación de stents autoexpandibles para la liberación de trombos.
Simulador 7 (ecografía en fantoma)	Identificación de estructuras anatómicas normales y patológicas en imagen ecográfica
Simulador 8 (biopsia ecoguiada)	Práctica de biopsia ecoguiada de nódulos en modelo experimental

CONCLUSIONES

Los simuladores están convirtiéndose en una parte esencial de la formación médica actual, debido a que permiten practicar las diferentes técnicas de la práctica clínica de una manera segura y sin importunar al paciente. Aunque presenta dificultades económicas y organizativas, es importante apostar por este modelo de docencia para mejorar la experiencia inicial de los futuros profesionales. Cada vez los simuladores, son más sofisticados y próximos a la realidad, lo que mejora la experiencia del estudiante y permite su acercamiento a la práctica clínica. Los simuladores utilizados en nuestras prácticas, así como los materiales que pudimos manejar, fueron de gran relevancia para comprender los procesos que habíamos visto desde el punto de vista teórico y consideramos que son complemento ideal para nuestra formación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Martín Carreira Villamor J, Souto Bayarri M, Varela R, Costilla S, García Vázquez JM. Enseñanza práctica de los sistemas de acceso a venas centrales en los estudios de grado. En: Pereira J, Nájera A, Arribas E, Arenas M, editores. Actividades de innovación en la educación universitaria española (APURF). p. 95-102. ISBN: 978-1-291-38912-8.
2. Carreira J, Souto Bayarri M, Coessens A, Varela R. Catéteres centrales de inserción periférica (PICC) en pacientes críticos. En: Puga A, Rubio Álvarez J, González Juanatey JR, González-Barcala FJ, Gelabert González M, editores. Máster en críticos. UNIDIXITAL; 2010. p. 327-332. ISBN: 978-84-693-6789-6.

3. Carreira JM, Górriz Gómez E, Bello López JL, Díaz Romero F. Catéteres centrales total y parcialmente implantables. En: Carreira Villamor JM, Maynar Moliner M, editores. Diagnóstico y terapéutica endoluminal. Radiología intervencionista. Barcelona: Masson; 2002. p. 595-604. ISBN: 84-458-1127-4.
4. Carreira JM, García Vázquez JM, Bello JL. Accesos venosos centrales. En: Puga A, González Juanatey JR, Gelabert M, Álvarez J, editores. Máster en críticos. UNIDIXITAL; 2010. ISBN: 978-84-693-6789-6.
5. Carreira JM, Romero Jaramillo A, García Vázquez JM, Maynar M. Punción percutánea. Técnica de cateterización. En: Carreira Villamor JM, Maynar Moliner M, editores. Diagnóstico y terapéutica endoluminal. Radiología intervencionista. Barcelona: Masson; 2002. p. 155-170. ISBN: 84-458-1127-4.
6. Sendra Portero F, Muñoz Núñez CF. Herramientas de formación on-line en radiología. Radiología. 2011;53(6):498-505. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2011.02.011>
7. Sendra Portero F. Enseñanza electrónica de radiología en pregrado: la experiencia de la Universidad de Málaga. En: Juanes Méndez JA, coordinador. Avances tecnológicos digitales en metodologías de innovación docente en el campo de las Ciencias de la Salud en España. Teoría de la Educación: Educación y Cultura en la Sociedad de la Información [Internet]. 2010 [citado 30 de abril de 2015];11(2):117-146. Disponible en: http://campus.usal.es/~revistas_trabajo/index.php/revistatesi/article/view/7074/7107
8. Sendra-Portero F, Torales-Chaparro OE, Ruiz-Gómez MJ, Martínez-Morillo M. A pilot study to evaluate the use of virtual lectures for undergraduate radiology teaching. Eur J Radiol. 2013;82(5):888-893. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2013.01.027>
9. Sendra Portero F, Illescas Megías V, Maqueda Pérez J, Alegre Bayo N, Algarra García J. El proyecto Radiotorax.es: la autoevaluación on-line en interpretación de radiografías al servicio de la comunidad radiológica. En: Pereira J, Nájera A, Arribas E, Arenas M, editores. Actividades de innovación en la educación universitaria española. [S.l.]: Creative Commons 3.0 España; 2013. p. 183-192.
10. Carreira Villamor JM, Varela Ponte R, Arce Vázquez V, Souto Bayarri M, Marcos Costilla García S, Sendra Portero F. Instrumentación para la docencia de radiología en un aula de habilidades para los estudiantes de medicina. En: Pereira J, Arenas M, Nájera A, García-Talavera P, editores. Actuaciones de Innovación Educativa en la Docencia Universitaria de Radiología y Medicina Física (APURF). [S.l.]: [s.n.]; 2015. p. 93-106. ISBN: 978-1-326-31332-6.
11. Marcos Costilla García S, Murias Quintana E, Saiz Ayala A, Calvo Blanco J, Fernández Llana B, Carreira Villamor JM. Radiología en pequeños animales de laboratorio: una necesidad en investigación y una oportunidad para los radiólogos. En: García-Talavera P, Arenas M, Nájera A, Pereira J, editores. Innovación Educativa del Área de Radiología y Medicina Física. [S.l.]: Lulu Press; 2017. p. 161-167. ISBN: 978-0-244-30066-1.

FORJANDO EL FUTURO DE LA RADIOLOGÍA: LA EXPERIENCIA TRANSFORMADORA DE LOS ESTUDIANTES TUTORES EN LA DOCENCIA PRÁCTICA CON SIMULACIÓN EN RADIOLOGÍA II DE LA USC

Manuel García Cordeiro^{1*}, Carlos López Vila^{1*}, José Martín Carreira Villamor^{1,3}

¹Facultad de Medicina, Universidad de Santiago de Compostela (USC), Santiago de Compostela, España;

²Departamento de Radiología, Complejo Hospitalario Universitario de Santiago de Compostela (CHUS), Santiago de Compostela, España;

* Autores que han contribuido de igual manera a este trabajo.

manuel.garcia.cordeiro@rai.usc.es; carlos.lopez.vila@rai.usc.es; josemartin.carreira@usc.es

RESUMEN

La simulación constituye un método de docencia emergente que está cobrando cada vez una presencia mayor en la educación universitaria. Esto se debe a que ha demostrado ser una forma muy eficaz de transmitir los conocimientos a los estudiantes de una manera clara y didáctica. En la universidad de Santiago de Compostela (USC), hemos implantado un modelo de aprendizaje basado en simulación para que los estudiantes puedan integrar correctamente los conceptos impartidos en la materia de Radiología II, conocer “in situ” los materiales, instalaciones y técnicas de esta disciplina y poder llevar a cabo técnicas específicas básicas y más complejas, pudiendo adquirir de esta manera una cierta experiencia y conocimiento de los procesos que previamente se conocían de forma teórica. El hecho de poder ver materiales y utilizarlos en simuladores aporta otra perspectiva constructiva de toda esta área de conocimiento. Para ello, unos estudiantes destacados hemos sido seleccionados cuidadosamente y entrenados para tutorizar estas prácticas y enseñar y guiar a nuestros compañeros de manera individualizada. El objetivo de este trabajo es exponer la pionera experiencia vivida en estas prácticas de Radiología II en la USC y exponer la evidencia científica que defiende la validez de este tipo de docencia.

INTRODUCCIÓN

La simulación médica es una práctica docente cada vez más extendida tanto en los ámbitos asistenciales como docentes. Sus múltiples ventajas hacen de ella una actividad cada vez más utilizada y aceptada tanto por profesionales como por estudiantes.

Estas prácticas presentan múltiples exigencias para su realización, una instalación adecuada, simuladores cada vez de mayor calidad y en número y características adecuadas al perfil de estudiantes que los van a utilizar y en muchos casos de difícil manejo, y tutores que puedan impartir estas prácticas a pequeños grupos, sobre todo cuando hablamos de impartir estas prácticas a grandes grupos de estudiantes, como es nuestro caso.

Para llevar a cabo estas prácticas en nuestro centro se pidieron estudiantes voluntarios que quisieran ejercer como tutores en determinados simuladores. Estos estudiantes que quisieran participar como tutores en la actividad recibirían una formación previa en todos los simuladores y posteriormente se repartirían los simuladores entre todos los participantes para tutorizar al resto del estudiantado.

Los estudiantes que íbamos a ejercer como tutores ya conocíamos gran parte de los materiales y técnicas que se iban a simular tras nuestra asistencia a clase, pero uno de los grupos que empezó más tarde las clases no tenía esta formación previa, por lo que era necesario actualizar a los compañeros que estaban en esta situación para que pudieran seguir las explicaciones y poder realizar la simulación con éxito.

En este trabajo nos proponemos describir nuestra experiencia en el aprendizaje y la posterior tutorización aplicada a los diversos simuladores utilizados en esta práctica y exponer los beneficios del modelo basado en la simulación tutorizada.

CONTENIDO

1. ORGANIZACIÓN Y LOGÍSTICA DE LAS PRÁCTICAS:

Una vez seleccionadas las fechas de realización de la actividad y distribuidos los simuladores en el lugar adecuado, se solicita la colaboración a los estudiantes que quieran implicarse en la actividad como tutores a través de los delegados de curso. Los delegados son informados de las características de la actividad, fechas y dedicación de tiempo para adquirir los conocimientos necesarios previos y la posterior tutorización de la actividad. Los delegados les transmiten a sus compañeros la posibilidad de colaborar en esta actividad y se programa cuando se puede realizar la formación previa.

Estos pasos podemos esquematizarlos de la siguiente forma:

1. **Primera fase, selección de dos delegados:** El encargado de la asignatura ha de seleccionar a dos delegados de confianza que se encargarán de dirigir junto con el profesorado la estructura organizativa de la actividad.
2. **Segunda fase, selección de los tutores:** para esta selección se utilizará como criterio la recomendación por parte de los dos estudiantes delegados junto con el

criterio final del profesor (conocedor de las habilidades pedagógicas y docentes de sus alumnos). Con estos, se seleccionará a 8 candidatos voluntarios que muestren interés en la asignatura y en las prácticas hospitalarias.

3. **Tercera fase, organización de los tutores:** los delegados de encargarán de hablar con los estudiantes tutores seleccionados para distribuirlos por turnos (completando un total de 17 horas de docencia cada tutor), teniendo en cuenta las preferencias de cada compañero e intentando adecuarlas a sus circunstancias.
4. **Cuarta fase, organización de los estudiantes:** este apartado también es organizado por los dos delegados. En el caso de la Universidad de Santiago de Compostela el curso de 3º de medicina consta de 3 clases (A, B y C), cada una con un número aproximadamente igual de alumnos, totalizando en torno a los 360 estudiantes. Esta forma de hacer la distribución permite a cada estudiante escoger el turno que más le favorece.

Las prácticas se llevaron a cabo durante 3 días (lunes, martes y miércoles), teniendo cada día 4 turnos de 2,5 horas cada uno: 2 por la mañana (de 9.00-11:30 y de 11:30 a 14:00) y otros 2 por la tarde (de 15:30 a 18:00 y de 18:00 a 20:30). Cada turno constituía el período de formación de la experiencia de simulación para los estudiantes, de modo que se dividieron en esas tandas al realizar los horarios. El número de tutores por turno variaba entre los diferentes días (véase Tabla 1) debido a que algunos simuladores (en el caso de la USC, los simuladores de “flow model” de reconstrucción del sistema vascular arterial y el de prácticas de liberación de stents) traían a sus propios docentes profesionales durante algunas jornadas, mientras que otros días debían ser cubiertos por alumnos tutores.

Las prácticas de simuladores de la USC se realizaron en marzo de 2024, y por razón de horarios se decidió organizar a los grupos A y B en horario de mañana. Los alumnos restantes de A y B que no tenían hueco por la mañana, junto con la clase C, se organizaron en el horario de tarde.

Siguiendo esta premisa, se distribuyó a los alumnos en grupos de 5. Durante cada turno, cada grupo rotaba por los 6 simuladores disponibles, estando 25 minutos por simulador (20 minutos de interacción y 5 de descanso). Cada estancia, permitía una breve explicación de lo que representa el simulador y su conexión con la realidad médica (para que se imaginasen a un paciente) y la interacción del estudiantado con el simulador.

2. PREPARACIÓN DE LOS TUTORES:

Tras ese período de selección y de logística, los alumnos tutores se prepararon el temario correspondiente y fueron formados por los profesores especialistas para poder enseñar correctamente a sus compañeros y resolver las dudas que pudieran plantearles.

El hecho de que estudiantes del mismo curso realicen funciones de tutores de prácticas de simulación, conlleva intrínsecamente la preparación previa de estos para que posteriormente, ellos dirijan la simulación como tutores al resto de estudiantes.

Esta preparación, se hizo una semana antes de las prácticas con el profesor especializado y el técnico de simulación. El equipo formado por los dos anteriores, explicó detalladamente el funcionamiento de los simuladores a los futuros tutores, exponiendo tanto el uso correcto del simulador, como las bases teóricas que se recomendaría priorizar, y su máxima optimización dentro de los simuladores.

Una vez sentadas las bases, los tutores procedieron a ver y probar las diferentes oportunidades docentes que ofrecían los simuladores, para así preparar la práctica de la mejor y más sencilla manera.

3. IMPLEMENTACIÓN DE LAS SESIONES PRÁCTICAS:

En cada simulador hay un docente o un estudiante tutor responsable que se encarga de enseñar a sus compañeros el funcionamiento de la estación (como se puede apreciar en las Fig. 1 y 2), ayudándoles a integrar los conocimientos teóricos a través del simulador práctico que estaban enseñando. Este planteamiento fue muy fructífero, quizás porque al explicarlo a los propios compañeros de clase, existía la ventaja de que eran conocedores de primera mano de la manera más eficaz de entender las cosas, dado que hasta días antes, eran ellos mismos los propios pupilos que fueron entrenados para entender y explicar los diversos procesos.

Los recursos y materiales eran muy distintos en cada simulador (como podemos ver al comparar la Fig. 1, 2 y 3). Desde simuladores de alta tecnología (que representaban la evaluación ecográfica de un paciente) valorados en 60.000€, hasta simuladores más asequibles económicamente pero que permitían un aprendizaje adecuado. Se vio que para transmitir una enseñanza práctica y pedagógica no se necesitan unos fondos faraónicos, puesto que uno de los simuladores más queridos consistió en biopsiar (guiado por ecografía) una mortadela con aceitunas.

Las explicaciones se hicieron en un lenguaje sencillo y sin recurrir a tecnicismos (dado que los tutores no tenían un grado de conocimiento tan alto como para caer en ello). Esto resultó ser una ventaja, dado que la conexión entre los pupilos y los jóvenes maestros era más grande

porque partían de las mismas raíces de conocimiento. Los tutores conocían las complejidades más grandes de cada explicación porque ellos mismos las habían vivido recientemente y eran conscientes de las dudas más típicas y probables. En caso de que hubiera algo que no eran capaces de responder, siempre había un profesional docente en la sala, para rellenar esos vacíos de conocimiento.

Los estudiantes, que ya habían recibido docencia teórica acerca de los contenidos impartidos en clases expositivas de la asignatura, pudieron integrar aquello que habían estudiado y vincularlo directamente con un sentido pragmático y con la realidad que se encontrarían en la práctica clínica. De esta manera, pudieron visualizar aquello que antes sólo era un concepto (tal vez erróneo en algunas ocasiones) en su cabeza. Al llegar a las estaciones, ver y utilizar el material, algunos se sorprendían de cómo era realmente el material de radiología intervencionista del que tanto se hablaba en clase. Era frecuente que algunos se imaginaran un tamaño diferente de los stents, una composición distinta de los “Pig-tails”, un funcionamiento diferente de la utilización de las guías en las revascularizaciones, o de cómo se hacen las biopsias... Lo mismo ocurría en la estación de ecografía simple, en la que pasaron de ver planos aislados de las diapositivas de clase a experimentar la correlación real entre la colocación de la sonda y la visualización de las estructuras en tiempo real.

Los estudiantes estuvieron muy contentos con sus tutores de prácticas. El hecho de tener a sus compañeros como guías y profesores les permitió participar más activamente en su aprendizaje. Y es que, al no tener a la figura de un profesor, que a veces puede ser temido por algunos por el miedo de pensar que les esté evaluando o que están juzgando su nivel de conocimiento, los estudiantes interactuaban más. No obstante, esto puede tener también sus inconvenientes. Y es que, si los tutores no muestran una seriedad y autoridad mínima, los estudiantes los pueden tomar como unos compañeros más que no tienen autoridad y no hacer caso a sus explicaciones. Por ello es esencial hacer una buena selección de los estudiantes que darán las prácticas de simulación.

En comparación con los métodos tradicionales de enseñanza, esta metodología fue muy bienvenida y querida por los estudiantes, dado que pudieron ver con sus propios ojos y realizar con sus propias manos aquello que estuvieron aprendiendo en las clases teóricas, demostrando una posible complementariedad entre los dos métodos de enseñanza. Si bien es cierto que antes la manera de hacer esto era debutar directamente con pacientes, observando e interviniendo poco a poco, hoy en día se tiene la ventaja de que existen aparatos de simulación que representan la realidad y les permiten a los estudiantes probar o realizar

ciertas intervenciones sin molestar a ningún paciente. Esto hará que se sientan más confiados cuando tengan que hacer sus prácticas en el hospital y puedan aprovecharlas al máximo.

4. BENEFICIOS DEL MODELO BASADO EN SIMULACIÓN TUTORIZADA:

Basándonos en las siguientes premisas, podemos inducir que el aprendizaje basado en la simulación tutorizada es eficaz, tiene sustento científico y se debe implementar en los programas educativos de medicina:

- A. El aprendizaje con simulación tiene que ser **necesariamente individualizado**, y el aprendizaje individualizado es mucho más eficaz porque facilita el mantenimiento del foco de atención y permite avanzar en las explicaciones en función de las dudas de los alumnos. De hecho, Benjamin Bloom propuso ya en 1984 la teoría de “2 Sigma Problem”, en la que demostraba que la enseñanza tutorizada (individualizada uno a uno) es mucho más eficaz que la enseñanza convencional (en grupos de 30), superándolos por dos desviaciones estándar (esto es, que el 98% de los estudiantes tutorizados superaban en conocimientos a los que recibían enseñanza tradicional)⁶. Con esta evidencia, cuesta pensar que una enseñanza masificada (como en las aulas de más de 100 personas que hay en algunas facultades de medicina) pueda llegar a ser óptima.
- B. El aprendizaje con simulación sigue las premisas del “**aprendizaje multisensorial**” (Shams & Seitz, 2008), puesto que los estudiantes combinan la observación (visual) con la manipulación de objetos (táctil) y la puesta en marcha (motor y cognitivo). Este tipo de aprendizaje multisensorial demostró ser más eficaz que los métodos unisensoriales, puesto que nuestro cerebro ha evolucionado para procesar información de múltiples fuentes simultáneas, optimizando la percepción y la memoria^{1,2}.
- C. El aprendizaje con simulación se basa en las teorías del “**aprendizaje experiencial**” (Kolb, 1984), que defienden el aprendizaje basando en una experiencia. De modo que la repetición de la misma técnica en un ámbito tutorizado por maestros fortalece una parte del proceso de la memoria. En este sentido, los simuladores participan esencialmente en la parte de la experiencia concreta, etapa esencial para poder dar paso a la observación reflexiva y la conceptualización abstracta. Se ha demostrado que este tipo de aprendizaje es muy eficaz y cabe destacar que la parte final del proceso de la memoria procedimental, la llamada “experimentación activa”, la completarían los pupilos en su futura práctica clínica³.

- D. El aprendizaje con simulación favorece el **aprendizaje kinestésico** (a través del movimiento, manipulación de material médico y experimentación práctica). Este aprendizaje, popularizado por Neil Fleming en 1992 con el modelo VARK (Visual, Auditivo, Lectura/Escritura y Kinestésico), ha demostrado ser muy eficaz.
- E. El aprendizaje con simulación sigue los principios de la **teoría del Aprendizaje Situado** (Lave y Wenger, 1991), que defiende que el aprendizaje es óptimo en los contextos auténticos o más parecidos a la realidad que se expone (en este caso, los simuladores emulan situaciones parecidas a la realidad)⁴.

5. ASPECTOS A MEJORAR:

Para optimizar la experiencia al máximo es bueno calcular bien los tiempos de cada simulador, con el fin de que el tutor pueda dar una breve explicación del modelo o del “paciente” simulado y que cada estudiante pueda observar a sus compañeros y experimentar por sí mismos la realidad simulada. Para ello es importante que los tutores practiquen antes los tiempos con sus otros compañeros tutores. Además de aspectos logísticos a los que se debe prestar gran atención para obtener buenos resultados, hay otros aspectos que se pueden mejorar, y que de hacerlo se podría llegar a conseguir unas prácticas excelentes. Entre ellos, destacamos los siguientes:

1. **El tiempo de cada turno:** El tiempo total de las prácticas viene definido por las horas que le corresponden a la materia. Puede ser interesante apostar por este tipo de docencia enfocada hacia la práctica, y de esta manera poder dejar a los estudiantes probar durante más tiempo o explorar en más profundidad los simuladores expuestos.
2. **Tiempo diferente de simuladores:** También podría ser interesante distribuir el tiempo de simulación de diferente manera. Esto es, en lugar de dar 20 o 25 minutos por cada simulador, intentar adaptar los tiempos a la dificultad de la estación. Para lograr esto, habría que distribuir bien los grupos para no crear colas de espera en cada estación.
3. **Los simuladores:** Una inversión en simuladores puede ser una opción interesante. Se podría aumentar la variedad de simulaciones para emular una cantidad mayor de situaciones que se puedan encontrar los futuros médicos en su práctica futura.
4. **Estudiantes mentores:** Otra mejora que se propone es incluir la figura de “estudiantes mentores”, que son estudiantes que han sido tutores de simulación y que se encargarían de ayudar a los tutores del curso siguiente. De esta manera, los

tutores aprenderían de la experiencia de tutores pasados y de los profesionales que les enseñan (doble vía de aprendizaje).

6. APLICABILIDAD A OTRAS ÁREAS:

Esta misma metodología se podría implantar en otras áreas de la medicina o de la propia radiología. Además de los simuladores que se han descrito, hay muchos otros modelos de simulación que utilizan la ecografía guiada u otros fantomas que simulan situaciones médico-quirúrgicas muy interesantes de otras especialidades.

FIGURAS



Figura 1. Estudiante tutor explicando el simulador de ecografía



Figura 2. Estudiante tutor explicando la técnica Seldinger



Figura 3. Simulador de navegación endovascular

TABLAS

TABLA I. DISTRIBUCIÓN DE DOCENTES

Día/Simulador	1	2	3	4	5	6
Lunes	Docente profesional	Alumno tutor	Alumno tutor	Alumno tutor	Docente profesional	Docente profesional
Martes	Docente profesional	Alumno tutor	Alumno tutor	Alumno tutor	Docente profesional	Alumno tutor
Miércoles	Docente profesional	Alumno tutor	Alumno tutor	Alumno tutor	Alumno tutor	Alumno tutor

CONCLUSIONES

En conclusión, son muchas las razones que nos deberían llevar a implementar el aprendizaje con simulación en las facultades de medicina de España. Si buscamos referencias pedagógicas en el mundo de la medicina, Gaba ya defendía en 2004 la importancia de instaurar la simulación en la educación médica, por los beneficios previamente expuestos (permite practicar repetidamente sin dañar al paciente y refuerza los tipos de aprendizaje que se han manifestado como óptimos). Además, añade que debería ser un aprendizaje estructurado, frecuente y evaluado como los demás aprendizajes⁵. Dicho esto, se ven claramente los beneficios que brinda trabajar con estos modelos de clase, ya no solo en radiología, sino en las múltiples asignaturas que componen el grado de medicina. Aunque las principales limitaciones de todas estas prácticas se basan en el apoyo institucional y económico que puedan tener, el buscar posibilidades para suplir estas deficiencias podrían llevar al estudiantado a un nivel superior en su aprendizaje y a hacer de la enseñanza algo más fructífero y positivo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Shams L, Seitz AR. Benefits of multisensory learning. *Trends Cogn Sci.* 2008;12(11):411-417. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2008.07.006>
2. Murray MM, Lewkowicz DJ, Amedi A, Wallace MT. Multisensory processes: a balancing act across the lifespan. *Trends Neurosci.* 2016;39(8):567-579. <https://doi.org/10.1016/j.tins.2016.05.003>
3. Kolb DA. *Experiential learning: experience as the source of learning and development.* Englewood Cliffs (NJ): Prentice Hall; 1984.
4. Lave J, Wenger E. *Situated learning: legitimate peripheral participation.* Cambridge: Cambridge University Press; 1991.
5. Gaba DM. The future vision of simulation in health care. *Qual Saf Health Care.* 2004;13 Suppl1:i2-i10. https://doi.org/10.1136/qhc.13.suppl_1.i2
6. Bloom BS. The 2 sigma problem: the search for methods of group instruction as effective as one-to-one tutoring. *Educ Res.* 1984;13(6):4-16. <https://doi.org/10.3102/0013189X013006004>

LOS ESTUDIANTES DE MEDICINA ANTE LA RADIOLOGÍA MAMARIA: ANÁLISIS DE SUS PREFERENCIAS E INQUIETUDES

Natalia Quesada Jiménez¹, Francisco Sendra Portero¹

¹Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina, Universidad de Málaga
nataliaqj00@gmail.com; sendra@uma.es

RESUMEN

Este estudio analiza las percepciones de los estudiantes de Medicina sobre la radiología mamaria para identificar áreas de mejora en su formación. Se recopilaron respuestas de 645 estudiantes de tercero y sexto curso en dos periodos (2017-18 y 2023-24), analizándose cualitativamente 1364 comentarios mediante codificación temática. Los temas más mencionados fueron la interpretación de imágenes para diferenciar lesiones benignas y malignas, la necesidad de métodos sistemáticos de lectura, el conocimiento de indicaciones y limitaciones de las pruebas, el cribado del cáncer de mama, las técnicas intervencionistas y la comunicación con las pacientes. No se observaron diferencias importantes entre cursos, años o género. Se concluye que los estudiantes tienen un gran interés en la interpretación radiológica, la formación práctica y los avances tecnológicos. La retroalimentación de los estudiantes es clave para mejorar la formación en medicina, también en radiología mamaria. Se recomienda reforzar el aprendizaje con casos clínicos, metodologías estructuradas y enseñanza en técnicas intervencionistas y comunicación médica.

INTRODUCCIÓN

El cáncer de mama es la neoplasia más común en mujeres, con una incidencia aproximada de una de cada ocho a lo largo de su vida ⁽¹⁾. Su impacto supone un desafío para la salud pública, afectando tanto a las pacientes como a los sistemas sanitarios. La mejora en la supervivencia se debe a estrategias de prevención y avances terapéuticos. En este contexto, la radiología desempeña un papel clave en la detección precoz mediante mamografía, ecografía y resonancia magnética ⁽²⁾. De hecho, los programas de cribado han logrado reducir la mortalidad en los países que los han implementado ⁽³⁾.

Dado que el cáncer de mama es una de las principales causas de morbimortalidad femenina, es esencial que todos los médicos, independientemente de su especialidad, posean

conocimientos en radiología mamaria. La detección temprana de hallazgos sospechosos permite una derivación rápida, mejorando el pronóstico y reduciendo complicaciones. Sin embargo, la enseñanza en pregrado es heterogénea, lo que afecta la cantidad y calidad de la formación ⁽⁴⁾. En muchos casos, esta área no es prioritaria en el plan de estudios por lo que los estudiantes deben recurrir a recursos adicionales para complementarla ⁽⁵⁾.

Aunque se ha estudiado la percepción de los residentes sobre su formación en imagen mamaria ⁽⁶⁾, no hay investigaciones sobre la enseñanza de esta disciplina en pregrado ni sobre los aspectos que el estudiantado considera esenciales. Conocer su perspectiva ayudaría a mejorar los programas formativos y a identificar áreas de mejora ⁽⁷⁾.

En la Universidad de Málaga, la enseñanza de la radiología mamaria ha evolucionado desde una única clase teórica en tercer curso hasta la incorporación de seminarios específicos en tercero y sexto año, implementados a partir del curso 2017-2018. Este estudio analiza cualitativamente las percepciones, intereses y preocupaciones del estudiantado de Medicina respecto a esta formación, considerando diferencias entre cursos, años académicos y género.

MÉTODOS

En las asignaturas de Radiología y Rotatorio de Radiología de la Universidad de Málaga, se llevó a cabo un estudio en el que se solicitó a estudiantes de tercer y sexto curso completar voluntariamente, por escrito, un cuestionario con hasta tres preguntas sobre el manejo radiológico de la patología mamaria que les gustaría resolver. Este cuestionario se presentó al inicio de un seminario de dos horas sobre radiología mamaria, con el objetivo de identificar sus inquietudes y percepciones previamente a los contenidos del seminario. Se les indicó que la participación no afectaría su calificación académica, fomentando así respuestas espontáneas y honestas. Este procedimiento se replicó en los cursos 2017-18 y 2023-24, asegurando la anonimización de las respuestas conforme a la normativa vigente de protección de datos.

El análisis de las respuestas se realizó mediante un proceso de codificación temática en tres niveles. Primero, se analizaron los comentarios de 2017-18, identificando patrones recurrentes y asignándoles códigos de primer nivel. Tras una revisión en equipo, se ajustó esta codificación y se establecieron códigos de segundo y tercer nivel. Posteriormente, este sistema se aplicó a las respuestas de 2023-24, incorporando nuevos códigos cuando fue necesario y validándolos en reuniones de consenso.

Para la organización y análisis de los datos se utilizó un fichero Excel, mientras que el modelo de lenguaje ChatGPT-4.0 se empleó como apoyo en la evaluación del significado y relevancia

de los códigos de primer nivel. Las respuestas generadas por ChatGPT fueron revisadas y refinadas por el equipo de investigación para garantizar su precisión.

Desde un enfoque cuantitativo, se analizaron la cantidad de comentarios por estudiante, la extensión de las respuestas y la distribución de los códigos en distintos subgrupos. Se calcularon estadísticas descriptivas (media, desviación estándar, mediana e intervalos de confianza) y se compararon grupos mediante la prueba t de Student para datos no apareados y la prueba de Chi cuadrado. Se estableció una significación estadística con una $p < 0,05$.

RESULTADOS

PARTICIPANTES Y RESPUESTAS

El estudio incluyó la participación de 645 estudiantes (Tabla I), quienes proporcionaron un total de 1364 comentarios con una extensión media de $13,4 \pm 7,5$ palabras.

ANÁLISIS CUANTITATIVO

En la Tabla II se presenta la frecuencia global de los códigos identificados. Los códigos de primer nivel más frecuentes fueron GENERAL (45,9%), MAMO (21,7%) y NO VALORABLE (8,2%). En segundo nivel, destacaron "Interpretación" (43%) e "Indicaciones" (12,9%), mientras que en tercer nivel los más frecuentes fueron "Benigno/Maligno" (15%) y "Dx cáncer" (7%). Un 5,4% y un 47,8% de los comentarios no se clasificaron en segundo y tercer nivel, respectivamente. La Tabla III muestra la comparación de códigos de nivel 1 entre diversos subgrupos del estudio.

ANÁLISIS TEMÁTICO

El análisis temático permitió la identificación de 14 temas principales (Tabla IV). Entre los aspectos más relevantes se destacó el interés del estudiantado en mejorar la interpretación de imágenes, diferenciar entre patologías benignas y malignas, y reforzar el diagnóstico precoz del cáncer de mama. Además, se identificó la necesidad de comprender el uso de técnicas complementarias, la sensibilidad y especificidad de las pruebas diagnósticas, y el manejo en poblaciones específicas, como pacientes jóvenes, gestantes o con implantes mamarios. Los participantes también mostraron interés en la aplicación del sistema BI-RADS, las recomendaciones de seguimiento y los procedimientos de biopsia guiada, el papel del radiólogo en equipos multidisciplinarios, el impacto psicológico del diagnóstico en los pacientes y los avances tecnológicos, particularmente en inteligencia artificial.

TABLA I. PARTICIPANTES EN EL ESTUDIO

	Curso académico		Género		TOTAL
	2017-2018	2023-2024	Mujeres	Hombres	
3°	175	149	231	93	324
6°	166	155	193	128	321
Ambos cursos	341	304	424	221	645

TABLA II. DATOS GLOBALES: FRECUENCIA DE CÓDIGOS DE PRIMER, SEGUNDO Y TERCER NIVEL

Nivel 1	N	%	Nivel 2	N	%	Nivel 3	N	%
GENERAL	626	45,9	Interpretación	587	43,0	B/M	204	15,0
MAMO	296	21,7	Indicaciones	176	12,9	Dx cáncer	95	7,0
NO VAL	112	8,2	Técnica	139	10,2	Mama normal	77	5,6
CRIBADO	89	6,5	Sin sentido	74	5,4	Tipos de lesiones	70	5,1
ECO	72	5,3	Sistemática/lectura	68	5,0	Calcificaciones	41	3,0
PACIENTE	38	2,8	Aprendizaje	35	2,6	Utilidad	41	3,0
INTERV	34	2,5	Incomprensible	29	2,1	Procedimiento	24	1,8
OTRAS	29	2,1	Implantes	26	1,9	Riesgo	20	1,5
CA MAMA	28	2,1	Edad	26	1,9	Localización	18	1,3
RM	25	1,8	Hombre	16	1,2	Edad	18	1,3
BIRADS	15	1,1	Siguiente Paso	15	1,1	Alternativas	17	1,2
–	–	–	Seguimiento	13	1,0	Mama densa	16	1,2
–	–	–	Tratamiento	13	1,0	Ganglios	16	1,2
–	–	–	Protocolo	10	0,7	Tipos de estudio	15	1,1
–	–	–	Afirmaciones	9	0,7	Les Benigna	14	1,0
–	–	–	Atención	8	0,6	Proyecciones	13	1,0
–	–	–	Miscelánea	8	0,6	Límites	6	0,4
–	–	–	PR	8	0,6	Les oculta	4	0,3
–	–	–	Futuro	7	0,5	IA	2	0,1
–	–	–	Hereditario	6	0,4	Calidad	1	0,1
–	–	–	Dolor	4	0,3	–	–	–
–	–	–	Pruebas	4	0,3	–	–	–
–	–	–	Errores Dx	4	0,3	–	–	–
–	–	–	Radiólogo	4	0,3	–	–	–
–	–	–	Embarazo	2	0,1	–	–	–
Sin código	0	0	Sin código	73	5,4	Sin código	652	47,8
TOTAL	1364	100	TOTAL	1364	100	TOTAL	1364	100

TABLA III. COMPARATIVA DE FRECUENCIAS DE CÓDIGOS DE NIVEL UNO EN LAS DIFERENTES COHORTES

	Año académico			Género			Curso		
	17-18	23-24	P	Mujeres	Hombres	P	3°	6°	P
GENERAL	41,7	50,5	0,016	48,2	41,7	0,093	47,3	44,5	0,445
MAMO	26,2	16,7	0,000	19,8	25,2	0,039	21,4	22,0	0,815
ECO	4,9	5,7	0,534	5,1	5,6	0,721	4,6	6,0	0,259
RM	1,3	2,5	0,103	2,0	1,4	0,434	0,9	2,7	0,015
CRIBADO	8,1	4,8	0,015	6,9	5,8	0,428	5,3	7,7	0,090
INTERV	2,0	3,1	0,195	2,5	2,5	0,982	2,9	2,1	0,377
PACIENTE	3,1	2,5	0,488	2,2	3,9	0,061	3,3	2,3	0,237
CA MAMA	1,5	2,6	0,169	2,3	1,7	0,445	2,3	1,8	0,578
OTRAS	1,0	3,4	0,002	1,8	2,7	0,293	2,0	2,3	0,707
NO VAL	9,5	6,8	0,074	7,6	9,3	0,299	9,9	6,7	0,040
BIRADS	0,7	1,5	0,142	1,6	0,2	0,020	0,2	2,0	0,001

TABLA IV. TEMAS SELECCIONADOS TRAS EL ANÁLISIS CUALITATIVO

TEMA 1	Interpretación sistemática de mamografías y pruebas radiológicas
Definición	Sistemática estructurada para interpretar mamografías y pruebas radiológicas, con énfasis en pasos clave, proyecciones y hallazgos sospechosos.
Citas	<i>"Me gustaría conocer una sistemática que seguir para identificar la patología de la mama de forma exitosa." "me gustaría aprender a interpretar la radiología de mama para identificar hallazgos patológicos y no patológicos, poder diferenciarlos de la normalidad y aprender a localizar los hallazgos que se aprecian en la prueba de imagen en los distintos cuadrantes de la mama"</i>
TEMA 2	Diferenciación entre patología benigna y maligna
Definición	Diferenciación entre lesiones benignas y malignas en radiología mamaria mediante características radiológicas como bordes, calcificaciones y patrones de densidad.
Citas	<i>"Criterios para distinguir las lesiones malignas de las benignas en una prueba radiológica" "¿cuáles son los signos radiológicos más importantes que nos ayudan a distinguir entre lesiones benignas y malignas de mama?"</i>
TEMA 3	Diagnóstico precoz del cáncer de mama
Definición	Diagnóstico precoz del cáncer de mama mediante la identificación de lesiones iniciales, signos radiológicos tempranos y técnicas avanzadas de imagen.
Citas	<i>"En primer lugar, me parece muy interesante el cribado de detección precoz de cáncer de mama, me gustaría poder ver los tumores en estadios iniciales" "dado que el cáncer de mama es muy frecuente, me gustaría conocer las distintas técnicas radiológicas que permiten identificarlo de manera precoz"</i>
TEMA 4	Uso de técnicas de imagen como ecografía o resonancia magnética
Definición	Interés por el uso de ecografía y resonancia magnética como técnicas complementarias para mejorar el diagnóstico en casos complejos, incluyendo mamas densas y lesiones sospechosas.
Citas	<i>"¿Cuándo se usa la resonancia magnética en la radiología de la mama?" "¿cuándo hay que realizar ecografía de mama?"</i>
TEMA 5	Sensibilidad y especificidad de las pruebas de diagnósticas
Definición	Rendimiento diagnóstico de las pruebas de diagnóstico mamario, analizando sensibilidad, especificidad y factores limitantes como la densidad mamaria.
Citas	<i>"¿Qué porcentaje de falsos positivos hay en la detección de cáncer de mama mediante mamografía?" "¿cuál es la sensibilidad de la mamografía? ¿a partir de qué tamaño detecta las lesiones?"</i>
TEMA 6	Patología benigna de la mama
Definición	Diagnóstico de patología benigna de la mama, diferenciando características radiológicas y evitando tratamientos innecesarios.
Citas	<i>"¿Cuáles son las principales características de las lesiones benignas?" "saber diferenciar y ver con claridad los quistes mamarios a través de una ecografía"</i>
TEMA 7	Evaluación radiológica en pacientes jóvenes y gestantes
Definición	Desafíos en el diagnóstico mamario en pacientes jóvenes y gestantes, priorizando técnicas seguras como ecografía.
Citas	<i>"¿Por qué en mujeres jóvenes está indicada la ecografía, cuando se podría hacer una RM, que también permitiría ver el patrón glandular con alta resolución?" "se puede hacer una radiografía de la mama durante lactancia o embarazo"</i>
TEMA 8	Manejo de implantes mamarios en estudios de imagen
Definición	Evaluación de prótesis mamarias mediante técnicas radiológicas, con énfasis en la detección de rupturas y complicaciones.
Citas	<i>"¿Los implantes mamarios suelen complicar el diagnóstico?" "en pacientes con prótesis mamarias sé que se hacen otras pruebas radiológicas como la rm, me gustaría saber también cómo evaluarlo."</i>
TEMA 9	Bi-rads: interpretación y clasificación en la práctica clínica
Definición	Interpretación y aplicación clínica de las categorías BI-RADS en imagen mamaria.
Citas	<i>"Cuándo se pone BI-RADS 0" "¿cómo se interpreta realmente el BI-RADS?"</i>
TEMA 10	Recomendaciones de seguimiento en el diagnóstico mamario
Definición	Planes de seguimiento basados en hallazgos mamarios y antecedentes clínicos.
Citas	<i>"¿Con qué frecuencia se hace seguimiento radiológico una mujer joven que ha tenido un cáncer de mama?" "¿qué tiempo debe pasar para volver a hacer una mamografía para revisión?"</i>
TEMA 11	Indicaciones y procedimientos de biopsia guiada por imagen

Definición	Criterios radiológicos para biopsias mamarias, destacando técnicas y procedimientos para confirmar diagnósticos.
Citas	<i>"Me gustaría conocer los procedimientos variados de toma de una biopsia, guiada por eco, por mamografía, etc."</i> <i>"conocer las diferentes técnicas diagnósticas y terapéuticas que se emplean en el manejo de la patología mamaria (arpon, técnica ganglio centinela...)"</i>
TEMA 12	Papel del radiólogo en la radiología mamaria
Definición	Interés por el papel del radiólogo en el diagnóstico y tratamiento de la patología mamaria y su participación en equipos multidisciplinares.
Citas	<i>"¿Por qué es necesario utilizar dos radiólogos que lean las mamografías en el screening de mama?"</i> <i>"también me interesa conocer el papel de los radiólogos en los comités de mama, en qué medida un diagnóstico influye en la decisión final".</i>
TEMA 13	Impacto psicológico del diagnóstico mamario
Definición	Reacciones emocionales ante el diagnóstico mamario y estrategias de apoyo.
Citas	<i>"Aprender cómo dar malas noticias a los pacientes sin empatizar demasiado para evitar disgustos"</i> <i>"cómo tratar a las pacientes, ya que vienen con miedo"</i>
TEMA 14	Desarrollos futuros en el diagnóstico mamario
Definición	Aplicación de inteligencia artificial y desarrollo tecnológico en la detección y diagnóstico de la patología mamaria.
Citas	<i>"¿Cuál es el futuro de la radiología mamaria? ¿uso de la inteligencia artificial en el diagnóstico de las lesiones?"</i> <i>"¿cómo se plantean los avances en radiología en el screening?"</i>

DISCUSIÓN

El análisis temático identificó áreas clave en la percepción del alumnado. Destacando la necesidad de mejorar la formación en la interpretación de imágenes, el uso adecuado de cada técnica según el contexto clínico y el cribado del cáncer de mama. También existe un interés creciente por la inteligencia artificial y la optimización del diagnóstico por imagen ^(8,9). Aunque la mayoría enfoca la radiología mamaria desde un punto de vista técnico, algunos estudiantes enfatizan la importancia de la comunicación con la paciente, sugiriendo una tendencia hacia la humanización de la práctica médica ⁽¹⁰⁾.

Al comparar cohortes en un periodo de siete años, se observa estabilidad en las inquietudes del estudiantado, aunque con un incremento del interés por aspectos generales de la radiología. No hay diferencias significativas entre géneros, salvo una mayor inclinación hacia la mamografía en hombres y hacia el sistema BI-RADS en mujeres, lo que podría reflejar diferencias en el enfoque de aprendizaje ⁽¹¹⁾. Por otro lado, los estudiantes de sexto curso muestran una mayor claridad en sus preguntas y una mejor comprensión de herramientas diagnósticas, lo que sugiere un progreso en su formación, aunque persisten dificultades en la expresión escrita en algunos casos.

Los hallazgos permiten identificar áreas de mejora en la enseñanza de la radiología mamaria, como la integración de casos clínicos reales, estrategias para la lectura sistemática de imágenes, mayor énfasis en la radiología intervencionista y en las habilidades comunicativas

con las pacientes. También se recomienda incorporar nuevas tecnologías en la enseñanza, incluyendo herramientas interactivas y análisis de errores diagnósticos para fortalecer el pensamiento crítico⁽¹²⁾. A nivel educativo, escuchar al estudiantado no solo permite mejorar la enseñanza, sino que también fomenta la autoevaluación y el aprendizaje autónomo, creando un entorno en el que los alumnos se sientan más involucrados y motivados^(13,14). Aunque existen estudios sobre la formación en radiología en general, hay una carencia de investigaciones específicas en imagen mamaria en pregrado.

Si bien los resultados ofrecen una visión útil sobre la percepción del alumnado, presentan limitaciones. La ausencia de estudios previos dificulta la comparación, y la naturaleza subjetiva de las respuestas puede introducir sesgos. Además, el formato de respuesta en papel y el tiempo limitado para completar el cuestionario pueden haber condicionado la profundidad de las respuestas.

CONCLUSIONES

Este estudio revela que los estudiantes de medicina muestran un fuerte interés por la interpretación radiológica mamaria, enfocándose en la diferenciación de patologías y la correcta indicación de pruebas. Además, demandan más formación práctica, algoritmos de lectura estructurados y mayor conocimiento sobre las limitaciones de las pruebas de imagen. También expresan interés en las técnicas intervencionistas y en mejorar la comunicación con las pacientes, especialmente en el manejo de la ansiedad diagnóstica.

Para optimizar su aprendizaje, es necesario incorporar más casos clínicos reales, un enfoque sistemático para la lectura de imágenes y enseñar las indicaciones y limitaciones de cada prueba. La formación en habilidades comunicativas y el uso de avances tecnológicos también deben ser priorizados. La retroalimentación del estudiantado es crucial para ajustar los métodos pedagógicos, garantizando que la enseñanza se alinee con las necesidades actuales y fortaleciendo la relación profesor-estudiante.

BIBLIOGRAFÍA

1. Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM). Cáncer de mama [Internet]. 2019 [citado 19 de noviembre de 2024]. Disponible en: <https://seom.org/info-sobre-el-cancer/cancer-de-mama?start=2>
2. Kolb TM, Lichy J, Newhouse JH. Comparison of the performance of screening mammography, physical examination, and breast US and evaluation of factors that influence them: an analysis of 27,825 patient evaluations. *Radiology*. 2002;225(1):165-175. <https://doi.org/10.1148/radiol.2251011667>

3. Independent UK Panel on Breast Cancer Screening. The benefits and harms of breast cancer screening: an independent review. *Lancet*. 2012;380(9855):1778-1786. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(12\)61611-0](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(12)61611-0)
4. Sabir SH, Aran S, Abujudeh H. Simulation-Based Training in Radiology. *J Am Coll Radiol*. 2014;11(5):512-517. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2013.02.008>
5. Wu T, Law W, Islam N, Yong-Hing CJ, Kulkarni S, Seely J. Factors Influencing Trainees' Interest in Breast Imaging. *Can Assoc Radiol J*. 2022;73(3):462-472. <https://doi.org/10.1177/08465371211049553>
6. Harvey JA, Nicholson BT, Rochman CM, Peppard HR, Pease CS, DeMartini NA. A milestone-based approach to breast imaging instruction for residents. *J Am Coll Radiol*. 2014;11(6):600-605. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2014.01.007>
7. Nyhsen CM, Steinberg LJ, O'Connell JE. Undergraduate radiology teaching from the student's perspective. *Insights Imaging*. 2013;4(1):103-9. <https://doi.org/10.1007/s13244-012-0206-8>
8. Roubidoux MA, Chapman CM, Piontek ME. Development and Evaluation of an Interactive Web-Based Breast Imaging Game for Medical Students. *Acad Radiol*. 2002;9(10):1169-1178. [https://doi.org/10.1016/S1076-6332\(03\)80518-4](https://doi.org/10.1016/S1076-6332(03)80518-4)
9. Moreira IC, Ramos I, Ventura SR, Rodrigues PP. Learner's perception, knowledge and behaviour assessment within a breast imaging E-Learning course for radiographers. *Eur J Radiol*. 2019;111:47-55. <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2018.12.006>
10. Kocher P, Awan OA. Transforming Medical Education: Integrating Online Modules for Dynamic and Engaging Learning Experiences. *Acad Radiol*. Publicado en línea el 18 de octubre de 2024. <https://doi.org/10.1016/j.acra.2024.09.030>
11. Cai Z, Fan X, Du J. Gender and attitudes toward technology use: A meta-analysis. *Comput Educ*. 2017;105:1-13. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.11.003>
12. Harthoorn FS, Scharenborg SWJ, Brink M, Peters-Bax L, Henssen D. Radiology education for medical students: a qualitative exploration of educational topics, teaching methods and future strategies. *BMC Med Educ*. 2024;24(1):891. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-05879-0>
13. Reis CS, Strøm B, Richli-Meystre N, Jorge JAP, Henner A, Kukkes T, et al. Characterization of breast imaging education and insights from students, radiographers and teaching staff about its strengths, difficulties and needs. *Radiography*. 2019;25(1):e1-e10. <https://doi.org/10.1016/j.radi.2018.07.001>
14. Bharti RK. Contribution of Medical Education through Role Playing in Community Health Promotion: A Review. *Iran J Public Health [Internet]*. 2023;52(6):1121-1128. <https://doi.org/10.18502/ijph.v52i6.12954>

REVISIONES SISTEMÁTICAS SOBRE LA ENSEÑANZA DE LA ECOGRAFÍA EN LA EDUCACIÓN MÉDICA DE PREGRADO

María Del Pilar Uribe Puyol¹, Dolores Domínguez Pinos¹, Rocío Lorenzo Álvarez¹, Teodoro Rudolphi Solero¹, Francisco Sendra Portero¹

¹Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina, Universidad de Málaga mariadelpilaruribepuyol@gmail.com; loly1977@hotmail.com; rociolorenzoalvarez@gmail.com; teorudsol@gmail.com; sendra@uma.es

RESUMEN

El objetivo de este estudio es evaluar el estado actual de la enseñanza/aprendizaje de ecografía en los estudios de pregrado en Medicina. Se realizó una revisión de revisiones sistemáticas en Google Scholar, PubMed, Scopus y EMBASE, con los términos: “estudiantes de medicina”, “ecografía” y “revisión”. La calidad de los artículos se evaluó mediante los criterios AMSTAR. De los 5283 resultados encontrados, 17 revisiones cumplieron los criterios de inclusión: 12 centradas en ecografía general, 2 en ecografía en el punto de atención (POCUS) y 3 en musculoesquelético, anatomía y evaluación. Doce estudios mostraron una calidad baja o muy baja. La ecografía mejora el aprendizaje en los estudios de medicina y complementa el examen físico, aunque su integración curricular sigue siendo heterogénea. Debería integrarse longitudinalmente en el pregrado, en grupos pequeños y con la participación/coordinación de radiólogos. Se requieren estudios que evalúen su eficacia real en la formación médica.

INTRODUCCIÓN

La ecografía es una herramienta de diagnóstico no invasiva ampliamente utilizada en la práctica clínica, considerada la segunda prueba de imagen más empleada después de la radiología convencional. Su utilidad radica en la obtención de imágenes en tiempo real, su bajo costo y su seguridad, al no emplear radiación ionizante. Es considerada el “fonendoscopio del siglo XIX”⁽¹⁾. Se basa en el uso de ultrasonidos y la variabilidad de la impedancia acústica de los tejidos, lo que le confiere una elevada resolución espacial, especialmente en estructuras superficiales ⁽²⁾.

En el ámbito educativo, la ecografía se ha integrado progresivamente como herramienta auxiliar en la enseñanza médica, facilitando la comprensión de la anatomía, la fisiología y las patologías, al tiempo que mejora las habilidades clínicas de los estudiantes mediante

retroalimentación visual inmediata. Sin embargo, su incorporación en los planes de estudio de las facultades de Medicina no sigue un protocolo unificado a nivel nacional o internacional, lo que genera variabilidad en su implementación. En 2022, un grupo de expertos elaboró el primer documento de recomendaciones para un currículo de ecografía en pregrado, resaltando la necesidad de su inclusión sistemática, aunque enfrentando desafíos derivados de diferencias curriculares, culturales y de disponibilidad de recursos ⁽³⁾.

A pesar del creciente número de estudios sobre la enseñanza de la ecografía en Medicina, aún no se ha determinado con precisión su impacto real en el aprendizaje ⁽⁴⁾. Las revisiones sistemáticas constituyen una herramienta fundamental para sintetizar la evidencia disponible, minimizando sesgos mediante métodos rigurosos. La calidad metodológica de estas revisiones debe ser evaluada con herramientas como AMSTAR-2 ⁽⁵⁾, que establece 16 criterios para valorar su fiabilidad (tabla I). Dentro de estos, siete dominios críticos pueden comprometer la validez de una revisión si no se cumplen adecuadamente.

TABLA I. ÍTEMS CRITERIOS AMSTAR-2

Ítem	Definición
1	¿Las preguntas de investigación y los criterios de inclusión para la revisión incluyen los componentes PICO?
2	¿El reporte de la revisión contiene una declaración explícita de que los métodos de la revisión fueron establecidos con anterioridad a su realización y justifica cualquier desviación significativa del protocolo?
3	¿Los autores de la revisión explicaron su decisión sobre los diseños de estudio a incluir en la revisión?
4	¿Los autores de la revisión usaron una estrategia de búsqueda bibliográfica exhaustiva?
5	¿Los autores de la revisión realizaron la selección de estudios por duplicado?
6	¿Los autores de la revisión realizaron la extracción de datos por duplicado?
7	¿Los autores de la revisión proporcionaron una lista de estudios excluidos y justificaron las exclusiones?
8	¿Los autores de la revisión describieron los estudios incluidos con suficiente detalle?
9	¿Los autores de la revisión usaron una técnica satisfactoria para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales incluidos en la revisión?
10	¿Los autores de la revisión reportaron las fuentes de financiación de los estudios incluidos en la revisión?
11	Si se realizó un metaanálisis, ¿los autores de la revisión usaron métodos apropiados para la combinación estadística de resultados?
12	Si se realizó un metaanálisis, ¿los autores de la revisión evaluaron el impacto potencial del riesgo de sesgo en estudios individuales sobre los resultados de metaanálisis u otra síntesis de evidencia?
13	¿Los autores de la revisión consideraron el riesgo de sesgo de los estudios individuales a interpretar discutir los resultados de la revisión?
14	¿Los autores de la revisión proporcionaron una explicación satisfactoria y discutieron cualquier heterogeneidad observada en los resultados de la revisión?
15	Si se realizó síntesis cuantitativa ¿los autores de la revisión llevaron a cabo una adecuada investigación del sesgo de publicación (sesgo de estudio pequeño) y discutieron su probable impacto en los resultados de la revisión?
16	¿Los autores de la revisión informaron de cualquier fuente potencial de conflicto de intereses, incluyendo cualquier financiamiento recibido para llevar a cabo la revisión?

No existe una puntuación específica que garantice la calidad de una revisión sistemática, ya que incluso valores altos pueden enmascarar deficiencias en aspectos clave, como una búsqueda bibliográfica insuficiente o una evaluación inadecuada del riesgo de sesgo. Sin embargo, se han identificado siete dominios críticos (ítems 2, 4, 7, 9, 11, 13 y 15) que pueden comprometer la validez de una revisión y sus conclusiones. Estos criterios no son absolutos, permitiendo a los investigadores modificar o sustituir dominios según la naturaleza de su análisis. Según el cumplimiento de estos dominios, se establecen cuatro niveles de confianza en los resultados de una revisión sistemática: **alto**, cuando no hay o solo existe una debilidad no crítica, garantizando un resumen preciso y completo de los estudios disponibles; **moderado**, cuando hay más de una debilidad no crítica, pero aún se proporciona un resumen fiable; **bajo**, si hay al menos un defecto crítico que impide una síntesis precisa y completa de la evidencia; y **críticamente bajo**, cuando existen múltiples defectos críticos, lo que invalida la confianza en sus conclusiones ⁽⁶⁾.

Una revisión de revisiones permite analizar múltiples revisiones sistemáticas sobre un tema específico, comparando sus hallazgos para extraer conclusiones más sólidas ⁽⁷⁾. En este contexto, este estudio pretende examinar el estado actual del conocimiento sobre la ecografía como método de aprendizaje en estudiantes de Medicina, evaluando su impacto en la adquisición de conocimientos y en la práctica clínica mediante criterios basados en el marco PICO:

- **Población de estudio (P):** estudiantes de medicina
- **Intervención de que se quiere analizar (I):** utilización adecuada de la ecografía como método de aprendizaje teórico y práctico
- **Comparación de intervención (C):** ninguna
- **Resultados (O: outcomes):** adquisición de conocimientos y aplicación en el ejercicio teórico y práctico diario

El **objetivo** de esta revisión de revisiones consiste en evaluar el estado actual de conocimiento sobre la aplicación de la ecografía como método de aprendizaje teórico y práctico de los estudiantes de Medicina, así como valorar los dominios críticos de las revisiones encontradas (AMSTAR-2).

MÉTODOS

Se ha realizado una revisión de revisiones de la literatura para analizar el papel de la ecografía en la formación de pregrado en Medicina. Para ello, se consultaron las bases de datos Google Scholar, PubMed, Scopus y EMBASE, empleando las palabras clave “ultrasound”, “undergraduate”, “medical education” y “review”, combinadas con el operador AND.

Los criterios de inclusión fueron:

- Estudiantes de Medicina (población diana)
- Ecografía (temática)
- Revisiones sistemáticas
- Idioma español y/o inglés
- Texto completo
- Años de publicación desde enero 2003 hasta febrero 2024

La búsqueda se realizó siguiendo las directrices PRISMA 2020 para revisiones sistemáticas. Se evaluaron inicialmente los títulos de los estudios, excluyendo aquellos que no cumplían los criterios de inclusión. Posteriormente, se revisaron los textos completos de las revisiones sistemáticas seleccionadas y se aplicó la herramienta AMSTAR-2 para evaluar su calidad. Se consideraron como dominios críticos los ítems 1, 2, 4, 7, 13 y 14, mientras que los ítems 11, 12 y 15 fueron excluidos por estar relacionados con metaanálisis, estableciendo una puntuación máxima de trece.

RESULTADOS

Tras consultar las bases de datos seleccionadas con la metodología descrita y los documentos recuperados en otras fuentes se obtuvieron 5283 artículos. Tras la primera lectura del título se desecharon 5178, obteniéndose 105 artículos que se almacenaron en la plataforma Zotero Standalone v6.0.36 (Corporation for Digital Scholarship, Vienna, VA) ⁽⁸⁾.

De estos 105 resultados obtenidos, se desecharon 45 por duplicidad, 41 por no ser revisiones sistemáticas y 2 por no cumplir con la temática. El total de revisiones a analizar fueron 17. Se utilizó la herramienta AMSTAR-2 para evaluar la calidad de las revisiones. Todos estos datos quedan enmarcados en la figura 1. Se trató de realizar una búsqueda de artículos en español. En PubMed, Scopus y EMBASE no se obtuvieron resultados; En Google Scholar se obtuvieron 63 resultados, pero ninguno fue incluido en el estudio.

En la tabla II se muestran los siguientes datos: bases de datos, palabras claves, número total de resultados obtenidos, número de revisiones seleccionadas y número de revisiones excluidas.

El desglose de las revisiones incluidas, ordenadas por fecha de publicación, se incluye en la tabla III (nombre del artículo, país de procedencia, departamentos implicados, y número de artículos seleccionados). Las revisiones se encuentran.

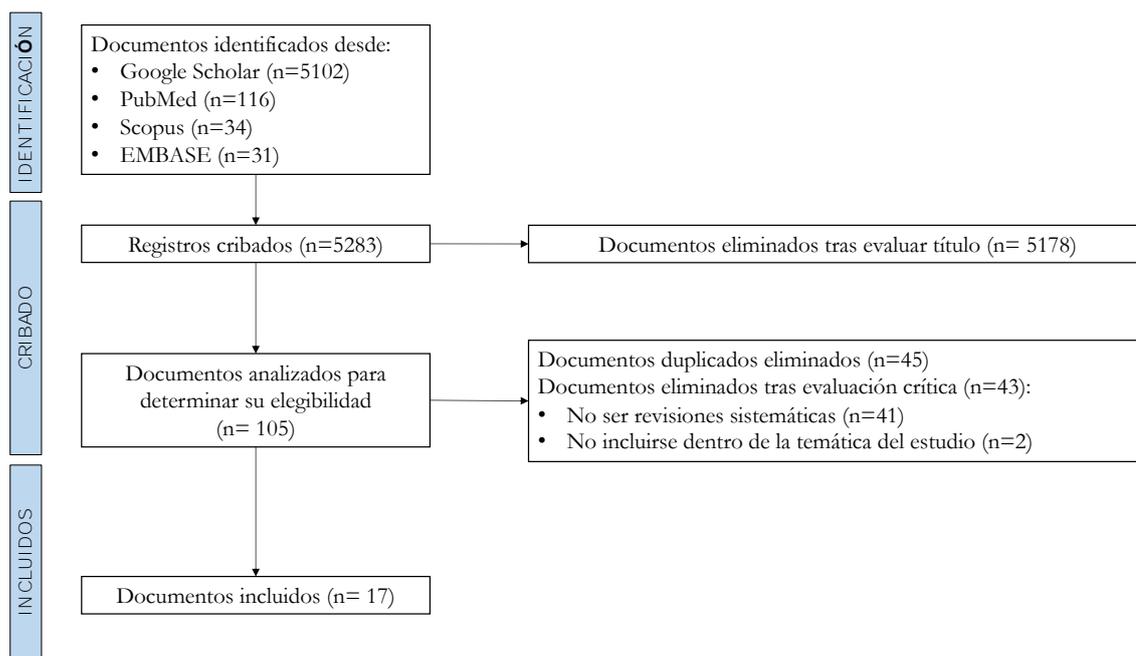


Figura 1. Flujograma de Identificación, cribado e inclusión de revisiones siguiendo criterios PRISMA

TABLA II. SELECCIÓN DE REVISIONES

Buscador	Palabras clave	Nº total de búsquedas	Nº seleccionados	Nº excluidos
Google Scholar	Ultrasound AND undergraduate AND medical education AND review	5102	38	5064
PubMed	Ultrasound AND undergraduate AND medical education AND review	116	41	75
Scopus	Ultrasound AND undergraduate AND medical education AND review	34	17	17
EMBASE	Ultrasound AND undergraduate AND medical education AND review	31	8	22
TOTAL		5283	104	5179

TABLA III. RESUMEN DE ESTUDIOS DE REVISIÓN SELECCIONADOS

Artículo	País	Departamentos implicados	Nº artículos
Comparison of peer-assisted learning with expert-led learning in medical school ultrasound education: a systematic review and meta-analysis ⁽⁹⁾	Canadá	Emergencia, Epidemiología y Salud Pública	10
Efficacy of Handheld Ultrasound in Medical Education: A Comprehensive Systematic Review and Narrative Analysis ⁽¹⁰⁾	Rumanía	Bioestadística, Anatomía y Embriología	26
Ultrasound Skill Teaching in UK Medical Education: a systematic review ⁽¹¹⁾	Reino Unido	Biomedicina	15
Point-of-Care ultrasound in undergraduate medical education: a scoping review of assessment methods ⁽¹²⁾	Canadá	Dermatología, Emergencia	157
Implementation of Ultrasound in Preclinical Education at Osteopathic Medical Schools: A Scoping Review ⁽⁴⁾	Estados Unidos	Anatomía, Radiología	22
The Current Situation of Musculoskeletal Ultrasound Education: A Systematic Literature Review ⁽¹³⁾	Alemania	Medicina Interna, Ginecología	67
Assessment Methods in Medical Ultrasound Education ⁽¹⁴⁾	Estados Unidos	Oncología, Hematología, Reumatología e Inmunología, Obstetricia, Medicina Interna	101
The Use of Ultrasound in Undergraduate Medical Anatomy Education: a Systematic Review with Narrative Synthesis ⁽¹⁵⁾	Reino Unido	Anatomía	34
Scoping review of implementing Open Access a longitudinal curriculum in undergraduate medical education: The wake forest experience ⁽¹⁶⁾	Estados Unidos	Emergencia, Neurología, Obstetricia y Ginecología	17
Integration of ultrasound in medical School: Effects on Physical Examination Skills of Undergraduates ⁽¹⁷⁾	Italia	Cirugía general	15
Ultrasound Curricula in Undergraduate Medical Education A Scoping Review ⁽¹⁸⁾	Canadá	Medicina Interna	112
Ultrasonography in Undergraduate Medical Education A Systematic Review ⁽¹⁹⁾	Estados Unidos	Emergencia	95
A Scoping Review of Ultrasound Teaching in Undergraduate Medical Education ⁽²⁰⁾	Irlanda	Anestesia	129
Hand-held Ultrasound Scanners in Medical Education: A Systematic Review ⁽²¹⁾	Reino Unido	Bioestadística, Cardiología	12
Integrating ultrasound into modern medical curricula ⁽²²⁾	Estados Unidos	Anatomía e Imagen médica	20
Ultrasound in undergraduate medical education: a systematic and critical review ⁽¹⁾	Irlanda	Medicina Familiar y Comunitaria	81
A Systematic Review of the Integration of Ultrasound into Medical School Curriculum ⁽²³⁾	Dominica (Caribe)	Anatomía	11

CALIDAD DE LAS REVISIONES

Según Cochrane, un aspecto fundamental en la realización de una revisión de revisiones es la evaluación del riesgo de sesgo y la calidad de las revisiones sistemáticas incluidas. Las puntuaciones obtenidas con la herramienta AMSTAR-2 se distribuyeron de la siguiente manera: dos revisiones con una puntuación de 7 (11,76%), tres con 8 (17,65%), cinco con 9 (29,41%), dos con 10 (11,76%), cuatro con 11 (23,53%) y una con 13 (5,88%). La mayoría de las revisiones (70,59%) alcanzaron puntuaciones entre 9 y 11, lo que sugiere una calidad intermedia.

En cuanto a la confianza general en los resultados de las revisiones, se observaron las siguientes categorías:

- Para seis de las revisiones fue **críticamente baja** ^(4,11,13,18,22,23), con más de un defecto crítico, y aunque no se debe confiar en ellas para proporcionar un resumen preciso y completo, se incluyeron en esta revisión dado a que sus resultados y conclusiones fueron útiles y similares a revisiones con un nivel de calidad más alto
- Para cinco de las revisiones fue **baja** ^(12,14,16,20,21), con un defecto crítico con debilidades no críticas. El ítem 13 y 14 fue el que obtuvo mayor porcentaje de respuestas negativas
- Para cinco de las revisiones fue **moderada** ^(1,10,15,17,19), con más de una debilidad no crítica proporcionándose un resumen preciso de los resultados
- Para una de las revisiones fue **alta** ⁽⁹⁾, con ninguna debilidad no crítica, proporcionándose un resumen preciso y completo de los resultados de los estudios disponibles

Cochrane recomienda evaluar la calidad de los estudios primarios incluidos en cada revisión sistemática. Sin embargo, solo seis de las dieciséis revisiones indicaron explícitamente la herramienta utilizada para evaluar el riesgo de sesgo de los estudios individuales ^(1,9,10,15,17,19), lo que podría limitar la solidez de sus conclusiones.

RESULTADOS Y CONCLUSIONES GENERALES DE LOS ESTUDIOS

El área temática en el que se centraron la mayor parte de las revisiones (70%) fue la ecografía general. Tan sólo dos de las diecisiete revisiones (12%) se centraron en el POCUS como temática general. Los temas menos tratados fueron la ecografía musculoesquelética (6%), la anatomía (6%) y la evaluación (6%).

Los subtemas más empleados fueron la percepción de los estudiantes (9,7%), seguido del examen físico (8,3%), aprendizaje por pares (6,9%), POCUS (6,9%) y estructura del curso (6,9%).

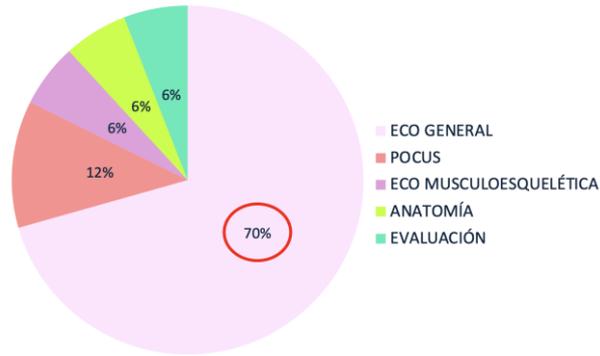


Figura 4. Gráfica de áreas temáticas

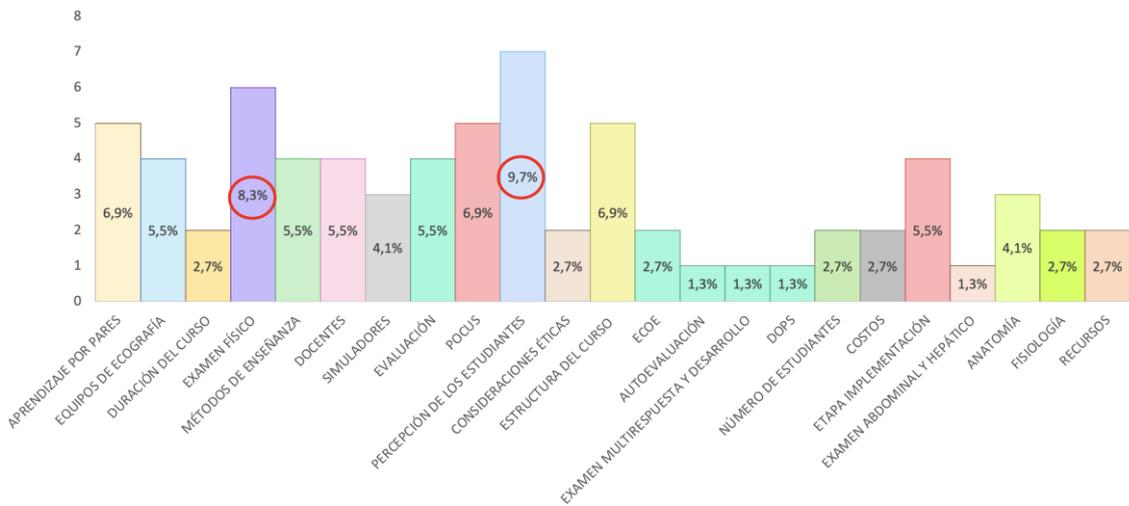


Figura 5. Gráfica de subtemas principales

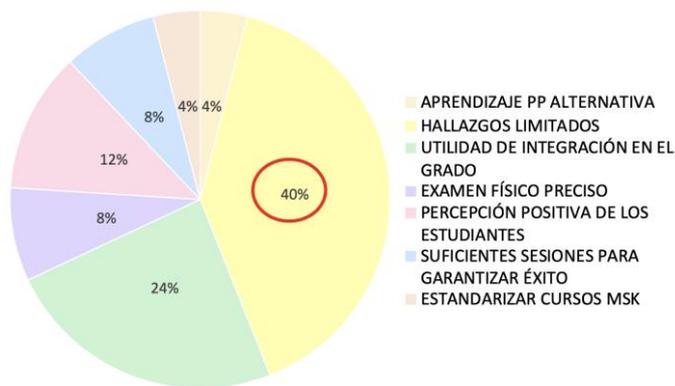


Figura 6. Gráfica de conclusiones generales

Las conclusiones generales a las que llegaron algunas de las revisiones (40%) fueron los hallazgos limitados debido a la heterogeneidad y falta de estudios concluyentes. No obstante, el 24% de las revisiones coincidieron en la utilidad de la integración de la ecografía en el grado de Medicina. Tres de las revisiones (12%) concluyeron que la integración de la ecografía en los planes de estudio de Medicina genera una percepción positiva de los estudiantes, ya que mejora el aprendizaje y las habilidades del examen físico.

DISCUSIÓN

Las revisiones incluidas en el análisis provienen de diversos países (Canadá, Reino Unido, Estados Unidos, Italia, Rumanía, Irlanda, entre otros), y aunque no existe una uniformidad en la enseñanza de la ecografía a los estudiantes de medicina, todas coinciden en su importancia para desarrollar habilidades manuales y de exploración física en los futuros médicos.

La incorporación de la ecografía en las facultades de Medicina potencia las habilidades manuales y de exploración física de los estudiantes, mejorando la precisión diagnóstica y la integración del conocimiento anatómico y fisiológico ^(16,20). Diversos estudios han demostrado que la ecografía complementa el examen físico sin sustituirlo, aportando mayor precisión en la evaluación clínica ^(1,10,18).

La herramienta Point-of-Care Ultrasound (POCUS) ha ganado relevancia en la educación médica, facilitando el diagnóstico inmediato y promoviendo un aprendizaje más interactivo y centrado en el paciente. La Conferencia de Consenso Internacional sobre Educación en Ultrasonido para estudiantes de medicina establece que la utilización de POCUS motiva y mejora la educación de los estudiantes de medicina, aunque debe utilizarse como una habilidad complementaria en el examen físico ⁽³⁾. No obstante, su implementación requiere una estructura curricular estandarizada para optimizar su enseñanza y garantizar su efectividad en la práctica médica ^(9,12).

La instrucción en ecografía debe ser longitudinal, integrado en todos los años de formación médica ^(13,15,19,22). Los cursos deben ser diseñados con una duración adecuada para maximizar el aprendizaje, evitando sesiones excesivamente cortas o prolongadas. Se recomienda la formación en grupos reducidos para garantizar una exposición práctica suficiente ⁽¹⁵⁾. La falta de simuladores en muchas facultades ha llevado a la utilización de estudiantes voluntarios como modelos ^(11,14,20), lo que implica la necesidad de consentimiento informado debido al riesgo de hallazgos patológicos no detectados previamente ⁽¹⁹⁾.

Se deben enseñar conocimientos básicos de ecografía general que sean fáciles de aplicar en la práctica clínica ^(11,18,21). Estudiar conocimientos muy específicos de cada especialidad podría llevar a un sobreesfuerzo y agotamiento por parte de los estudiantes que inicialmente pueden estar interesados en el aprendizaje de la ecografía ⁽²¹⁾.

La evaluación de la formación en ecografía debe incluir tanto aspectos teóricos como prácticos, utilizando metodologías como el Examen Clínico Objetivo Estructurado (ECO) para garantizar la adquisición de competencias esenciales ^(11,12,16,18).

Uno de los hallazgos más relevantes de esta revisión de revisiones es la escasa participación del Departamento de Radiología ⁽⁴⁾ en la enseñanza de ecografía en pregrado, a pesar de su experiencia en la interpretación de imágenes ⁽²⁴⁾. Aunque otros especialistas pueden impartir formación en sus áreas específicas, los radiólogos poseen el conocimiento más sólido en anatomía ecográfica y patología ⁽²⁰⁾.

La evidencia disponible presenta limitaciones metodológicas, incluyendo sesgo de selección debido a la participación voluntaria de los estudiantes y la falta de revisiones con alto nivel de confianza. Se requiere mayor investigación para evaluar la efectividad real de la integración de la ecografía en la educación médica y su impacto en la práctica clínica.

CONCLUSIONES

La revisión de revisiones ha sido en el método de elección para analizar y comparar estudios sobre la ecografía en estudiantes de medicina debido al alto número de publicaciones. La ecografía en los planes de estudio de Medicina es beneficiosa, ya que complementa el examen físico y mejora el aprendizaje. Su enseñanza debe ser impartida por radiólogos, aunque algunas áreas específicas, como Cardiología o Ginecología, deben ser enseñadas por especialistas de cada campo. El curso debe adaptarse a las necesidades de los estudiantes, con grupos pequeños y suficiente tiempo para practicar. Las futuras investigaciones deberían centrarse en evaluar la eficacia de la ecografía como herramienta de aprendizaje y en mejorar la calidad de los estudios existentes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Feilchenfeld Z, Dornan T, Whitehead C, Kuper A. Ultrasound in undergraduate medical education: a systematic and critical review. *Med Educ.* 2017;51(4):366–78. <https://doi.org/10.1111/medu.13211>
2. Abellán Atienza JL. En: JL del Cura, D Aquerreta, F Sendra y JM Carreira (editores) *Radiología básica: método programado para el aprendizaje.* 1ª ed. Buenos Aires: Editorial Médica Panamericana; 2021.

3. Hoppmann RA, Rao VV, Bell F, Poston MB, Howe DB, Riffle S, et al. The evolution of an integrated ultrasound curriculum (iUSC) for medical students: 9-year experience. *Crit Ultrasound J*. diciembre de 2015;7(1):18. <https://doi.org/10.1186/s13089-015-0035-3>
4. Scotti MR, Davis DC, Patel R, Weekes S, McNary T, Alexander J. Implementation of Ultrasound in Preclinical Education at Osteopathic Medical Schools: A Scoping Review. *Cureus*. 2023;15(5):e39329. <https://doi.org/10.7759/cureus.39329>
5. AMSTAR - Assessing the Methodological Quality of Systematic Reviews [Internet]. [citado 30 de noviembre de 2023]. Disponible en: https://amstar.ca/About_Amstar.php
6. Shea BJ, Reeves BC, Wells G, Thuku M, Hamel C, Moran J, et al. AMSTAR 2: a critical appraisal tool for systematic reviews that include randomised or non-randomised studies of healthcare interventions, or both. *BMJ*. 2017;358:j4008. <https://doi.org/10.1136/bmj.j4008>
7. Pollock M, Fernandes RM, Becker LA, Pieper D, Hartling L. Chapter V: Overviews of Reviews. En: Higgins JPT, Thomas J, Chandler J, Cumpston M, Li T, Page MJ, Welch VA, editores. *Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions* versión 6.5 [Internet]. Cochrane; 2024 [citado 30 de noviembre de 2023]. Disponible en: <https://training.cochrane.org/handbook/current/chapter-v>
8. Corporation for Digital Scholarship. About Zotero [Internet]. [citado 30 de noviembre de 2023] Disponible en: <https://www.zotero.org/about/>
9. Bapuji R, Eagles D, Ferreira N, Hecht N, Zhang Y, Woo MY, et al. Comparison of peer-assisted learning with expert-led learning in medical school ultrasound education: a systematic review and meta-analysis. *CJEM*. 2024;26(3):188–97. <https://doi.org/10.1007/s43678-024-00663-x>
10. Haji-Hassan M, Capraş RD, Bolboacă SD. Efficacy of Handheld Ultrasound in Medical Education: A Comprehensive Systematic Review and Narrative Analysis. *Diagnostics*. 2023;13(24):3665. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13243665>
11. McCormick E, Flanagan B, Johnson CD, Sweeney EM. Ultrasound skills teaching in UK medical education: a systematic review. *Clin Teach*. 2023;20(5):e13635. <https://doi.org/10.1111/tct.13635>
12. DeBiasio C, Pageau P, Shefrin A, Woo MY, Cheung WJ. Point-of-Care-ultrasound in undergraduate medical education: a scoping review of assessment methods. *Ultrasound J*. 2023;15(1):30. <https://doi.org/10.1186/s13089-023-00325-6>
13. Neubauer R, Recker F, Bauer CJ, Brossart P, Schäfer VS. The Current Situation of Musculoskeletal Ultrasound Education: A Systematic Literature Review. *Ultrasound Med Biol*. 2023;49(6):1363–74. <https://doi.org/10.1016/j.ultrasmedbio.2023.02.008>

14. Höhne E, Recker F, Dietrich CF, Schäfer VS. Assessment Methods in Medical Ultrasound Education. *Front Med.* 2022;9:871957.
<https://doi.org/10.3389/fmed.2022.871957>
15. Kenny EJG, Makwana HN, Thankachan M, Clunie L, Dueñas AN. The Use of Ultrasound in Undergraduate Medical Anatomy Education: a Systematic Review with Narrative Synthesis. *Med Sci Educ.* 2022;32(5):1195-208.
<https://doi.org/10.1007/s40670-022-01593-y>
16. Glass C, Sarwal A, Zavitz J, Nitsche J, Joyner J, Johnson LL, et al. Scoping review of implementing a longitudinal curriculum in undergraduate medical education: The wake forest experience. *Ultrasound J.* 2021;13(1):23. <https://doi.org/10.1186/s13089-021-00206-w>
17. Oteri V, Occhipinti F, Gribaudo G, Marastoni F, Chisari E. Integration of ultrasound in medical School: Effects on Physical Examination Skills of Undergraduates. *Med Sci Educ.* 2020;30(1):417-27. <https://doi.org/10.1007/s40670-020-00921-4>
18. Tarique U, Tang B, Singh M, Kulasegaram KM, Ailon J. Ultrasound curricula in undergraduate medical education: a scoping review. *J Ultrasound Med.* 2018;37(1):69–82. <https://doi.org/10.1002/jum.14333>
19. Davis JJ, Wessner CE, Potts J, Au AK, Pohl CA, Fields JM. Ultrasonography in Undergraduate Medical Education: A Systematic Review. *J Ultrasound Med.* 2018;37(11):2667-79. <https://doi.org/10.1002/jum.14628>
20. Birrane J, Misran H, Creaney M, Shorten G, Nix CM. A Scoping Review of Ultrasound Teaching in Undergraduate Medical Education. *Med Sci Educ.* 2017;28(1):45-56. <https://doi.org/10.1007/s40670-017-0491-4>
21. Galusko V, Khanji MY, Bodger O, Weston C, Chambers J, Ionescu A. Hand-held ultrasound scanners in medical education: a systematic review. *J Cardiovasc Ultrasound.* 2017;25(3):75-83. <https://doi.org/10.4250/jcu.2017.25.3.75>
22. Patel SG, Benninger B, Mirjalili SA. Integrating ultrasound into modern medical curricula. *Clin Anat.* 2017;30(4):452-60. <https://doi.org/10.1002/ca.22864>
23. Olumide NF, Effiom ME, Onuegbu CA, Faleti OC, Halari MM, Halari CD. A systematic review of the integration of ultrasound into medical school curriculum. *Am Sci Res J Eng Technol Sci.* 2016;19(1):122–9. [citado 30 de noviembre de 2023]
Disponibile en:
https://asrjetsjournal.org/index.php/American_Scientific_Journal/article/view/1678
24. Phelps A, Wan J, Straus C, Naeger DM, Webb EM. Incorporation of ultrasound education into medical school curricula: survey of directors of medical student education in radiology. *Acad Radiol.* 2016;23(7):830-5.
<https://doi.org/10.1016/j.acra.2016.02.012>

DETERMINACIÓN DE LOS RIESGOS PARA LA SALUD DE LA ACTIVIDAD RADIOLÓGICA EN EL PUERTO DE CARTAGENA

Emilio Martínez Segovia¹, Amparo Olivares¹, José Antonio García-Gamuz¹, Ramón Valerdi, Ana Mercado¹
Miguel Alcaraz¹,

¹Área de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia
emilio.martinez4@um.es, amparo.o.r@um.es; gamuz@um.es; anamaria.mercado@um.es, mab@um.es.

RESUMEN

Se presenta el primer Mapa radiológico del Puerto de Cartagena que permite confirmar la ausencia de contaminación radiactiva y de riesgo para la salud de los trabajadores y la población adyacente debido a las actividades portuarias, así como determinar unos valores radiológicos de referencia que permite detectar de una forma temprana y fiable cualquier actividad o incidente radiológico provocado por situaciones accidentales, de emergencia o terroristas. Con los resultados obtenidos se ha determinado la elección de localizaciones de monitorización continua que permite conocer la radiactividad ambiental del puerto en tiempo real. Para ello, un grupo de investigadores de la Universidad de Murcia con experiencia y acreditaciones del Consejo de Seguridad Nuclear para trabajar con radiaciones ionizantes han obtenido las medidas ambientales con diferentes tipos de detectores portátiles de radiación ionizante a lo largo de las instalaciones portuarias. Con los resultados obtenidos se ha elaborado el primer Mapa radiológico del Puerto de Cartagena que permite confirmar la inocuidad para la salud de las dosis de radiación ionizante determinadas en las instalaciones portuarias y la ausencia de riesgo para la salud que estas dosis suponen para la población de Cartagena. De igual forma, se han determinado los valores radiológicos de referencia que permitirán evaluar el alcance y la intensidad de cualquier incidente radiológico que se produzca en el puerto de Cartagena y que serían atribuibles a causas externas sobrevenidas.

INTRODUCCIÓN

Nunca se ha realizado un estudio de la dosis de radiación ambiental ni del riesgo de contaminación radiactiva del suelo o de las aguas del puerto de Cartagena, por lo que no se puede confirmar la ausencia de riesgo radiológico de las actividades portuarias sobre los trabajadores y la población. En este sentido, las actividades portuarias conllevan el

almacenaje, distribución y control de numerosas mercancías que se han relacionado con el riesgo radiológico y que conlleva la existencia de riesgo de contaminación radiactiva (empresas de fertilizantes y fosfatos, de gases licuados de diferentes procedencias, productos petrolíferos, importante base de la armada, accesibilidad de buques de guerra de diferentes nacionalidades, así como la entrada de pequeños y grandes buques con fines turísticos que conviven con una significativa actividad pesquera). Además, en Cartagena se dan otras dos situaciones que subrayan la necesidad de este estudio: por un lado, la existencia de una de las mayores zonas de contaminación radiactiva de España muy próxima a la población, la desmantelada industria ubicada en el Hondón en Cartagena, y que mantenía una clara relación con el puerto; y, por otro lado, las informaciones que señalan al puerto de Cartagena como la zona idónea para el envío de los miles de toneladas de material contaminado con isótopos radiactivos procedentes del accidente radiológico de Palomares con destino a Estados Unidos, lo que implica un potencial riesgo ambiental radiológico para el puerto y la población de su entorno.

Durante el IV Workshop Internacional de Emergencias sobre Intervención Operativa en Riesgos Tecnológicos celebrado en Cartagena ⁽¹⁾ patrocinado por la Autoridad Portuaria de Cartagena (APC), se puso de manifiesto que no existía ningún mapa radiológico ni estudio similar del puerto de Cartagena y que, por tanto, se desconoce la situación actual de contaminación radiactiva del suelo y de sus aguas marinas. Sólo se conocen algunos datos generales sobre la población española en la red de estudios del Consejo de Seguridad Nuclear de España ⁽²⁻⁵⁾. Esta situación contrasta con las recomendaciones internacionales de diferentes organismos que recomienda la monitorización de las aguas y el suelo portuario para detectar posibles riesgos radiológicos que afectan a la salud de los trabajadores y de la población urbana adyacente ⁽⁶⁻⁸⁾.

En este sentido, el puerto de Cartagena participa en el almacenaje, distribución y control de numerosas mercancías que se han relacionado con el riesgo radiológico y que conlleva la existencia de riesgo de contaminación radiactiva: empresas de fertilizantes ⁽⁹⁾, de fosfatos ⁽³⁾, transporte y almacenamiento de gases licuados ⁽¹⁰⁾, productos petrolíferos ^(10,11), entre otros muchos. Además, es un importante puerto de viajeros con la entrada frecuente de grandes buques con un importante componente de transbordos turísticos ⁽¹¹⁻¹³⁾ que conviven con una actividad pesquera. De igual forma es un importante puerto militar de la armada española en donde con frecuencia se produce la entrada y permanencia de buques militares de diferentes nacionalidades ⁽¹⁴⁾.

Finalmente, y de forma específica, en Cartagena se dan otras dos situaciones que subrayan la necesidad de un estudio de estas características. Por un lado, la situación de contaminación radiactiva del Hondón en Cartagena, antigua fábrica del Zinc como la denominábamos los residentes en Cartagena que evolucionó posteriormente con fábricas productoras de fertilizantes y fosfato, y que constituye uno de los 6 espacios con mayor contaminación radiactiva de nuestro país según los informes del Consejo de Seguridad Nuclear

Este proyecto supone la realización del primer mapa radiológico del puerto de Cartagena que permitiría confirmar la situación de ausencia de contaminación radiológica ambiental significativa, permitiendo determinar la ausencia de riesgo radiológico para la salud de la población adyacente y determinando los valores básicos y de referencia del puerto en caso de cualquier tipo de incidente radiológico.

OBJETIVOS

Los objetivos que se pretenden alcanzar en este estudio son los siguientes:

1. Confeccionar el primer mapa radiológico del Puerto de Cartagena que permita determinar la existencia de algún tipo de riesgo radiológico para los trabajadores del puerto y de la población adyacente.
2. Si la radiación ambiental determinada triplica los límites de radiación de fondo ambiental determinadas en España se pretende determinar el grado de contaminación radiactiva mediante el análisis de frotis y muestras de agua y suelo supuestamente contaminados para valorar el grado de contaminación radiactiva de las aguas y suelos portuarios.
3. Determinar los valores ambientales radiológicos de referencia en las dependencias portuarias que permitan cuantificar el incremento de las dosis radiológicas ante una situación accidental o de emergencia sobrevenida.
4. Valorar los puntos de interés susceptibles de una monitorización en tiempo real o periódica del fondo radiactivo ambiental que permita una alerta temprana de riesgo radiológico.
5. Determinar los riesgos para la salud para la población de la actividad radiológica en el puerto de Cartagena

MATERIAL Y MÉTODOS

A). MATERIALES.

- 2 Medidores de detección de radiación Fluke 481® para determinación de dosis cutáneas (partículas beta), dosis profundas (gamma) y rayos X. (<https://www.fluke.com/es-mx/producto/seguridad-de-radiacion/fluke-481#>)
- -3 equipos Geiger Counter PCE-RAM 10 Geiger para detección de radiaciones α -, β -, γ - y x, con memoria interna transferencia de datos al ordenador. (www.pce-instruments.com)
- 3 detectores de radiación GADGET GAMMA EASY® con lectura automatizada cada 30 s. (WWW.GAMMA-EASY.COM).
- 2 detectores GAMMA-SCOUT® para detección de radiaciones a-, b- & y- .(www.gamma-scout.com) -4 detectores radiómetros TERRA MKS 05 Ecotest (<https://ecotestgroup.com/products/terra/>)
- 1 detector de radiación BERTHOLD LB-130-1B,
- 1 dosímetro portátil digital PSD-602A.
- 6 cámaras de ionización tipo pluma y unidad Stephen de lectura y carga.
- 2 dosímetros de alarma personal de radiación RAD HEEPER y AMCOR GAMMA-ALERT
- 1 Monitor de radiación KETTHLEY (Tipo CUTIE PIE).
- 1 Monitor portátil de tasa de dosis RADCAL 2025AXC
- 2 monitores portátiles tipo Geiger Müller

B) METODOLOGÍA

Se ha realizado la determinación de las dosis de radiación ambientales que permite determinar el riesgo de irradiación externa en los lugares analizados. Las medidas se han realizado a pie, con determinaciones cada 5 metros que permiten la realización de un mapa de dosis externa de radiación ionizante ambiental de los lugares estudiados. Cuando las dosis tripliquen los umbrales máximos de radiación ambiental en España descritas por el Consejo de Seguridad Nuclear se realizarán determinaciones localizadas sobre las estructuras adyacentes y la toma de frotis y muestras que permita la evaluación posterior de una posible contaminación radiactiva del lugar. Con los datos recogidos se ha elaborado el primer mapa radiológico de la radiación ambiental de las zonas estudiadas que servirá de base para posteriores análisis.

C) PLAN DE TRABAJO

El trabajo ha sido realizado por profesores de la Universidad de Murcia del Área de Radiología y Medicina Física de la Universidad de Murcia con la adecuada formación en protección radiológica y manejo de los diferentes detectores de radiación ionizante utilizados en el estudio.

El trabajo se ha realizado desde marzo de 2024 hasta la actualidad. Las aplicaciones que se pretenden obtener de este estudio son:

1. Realizar el primer mapa radiológico del puerto de Cartagena y determinar el riesgo radiológico para la salud de los trabajadores del puerto y de la población adyacente de la ciudad producido por o en las actividades portuarias.
2. Confirmar la ausencia de contaminación radiactiva y la delimitación de las zonas de riesgo radiológico provocado por las actividades portuarias y de las empresas que trabajan en el puerto.
3. Valorar la necesidad de establecer una monitorización continua en tiempo real de la actividad radiológica y, en su caso, la elección de los puntos de medida para el control de la radiación ionizante ambiental.
4. Confirmar la ausencia de riesgo radiológico para los trabajadores y la población adyacente de la ciudad de Cartagena y realizar una estimación del riesgo para la salud que significa la dosis de radiación determinadas.
5. Obtener unos valores de referencia que permita detectar y valorar cualquier incidente radiactivo por actividades programadas, accidentales o terroristas en el puerto de Cartagena de forma precisa y temprana asegurando la protección radiológica de la población.
6. Comunicar las dosis de radiación ambiental obtenidas en el Puerto de Cartagena al Consejo de Seguridad Nuclear para su inclusión, si lo considera oportuno, en las bases de datos de control radiológico ambiental en España.

Para el estudio el puerto de Cartagena, con sus dos dársenas (Cartagena y Escombreras) se ha dividido en 7 zonas independientes de estudio y análisis (Figura 1).

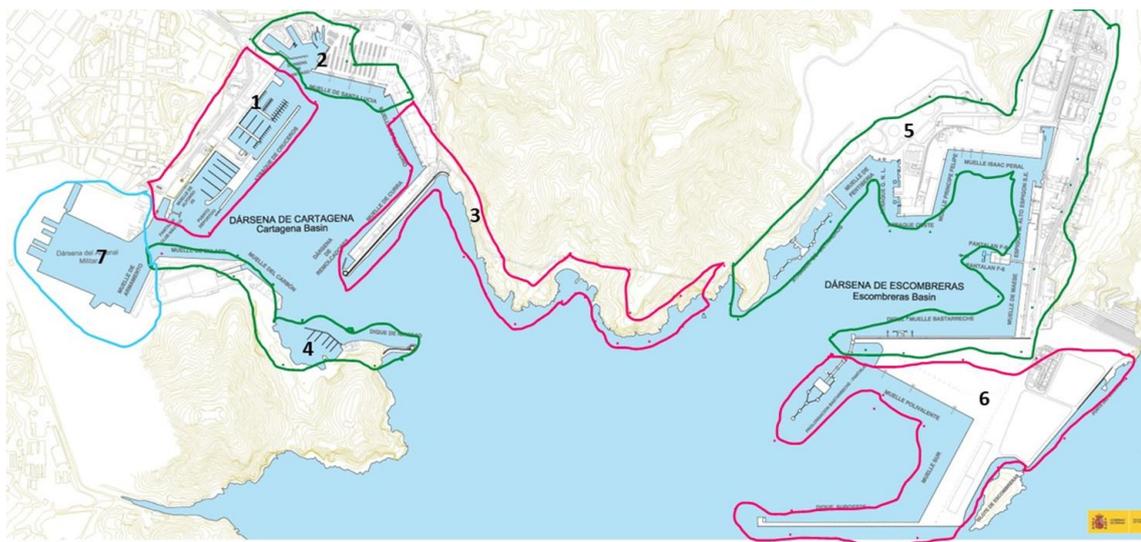


Figura 1. División del puerto en 7 zonas para el estudio.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las siguientes figuras se muestran los resultados obtenidos expresados en



Figura 2. Resultados numéricos de las mediciones en diferentes partes del puerto. Dársena de Cartagena.

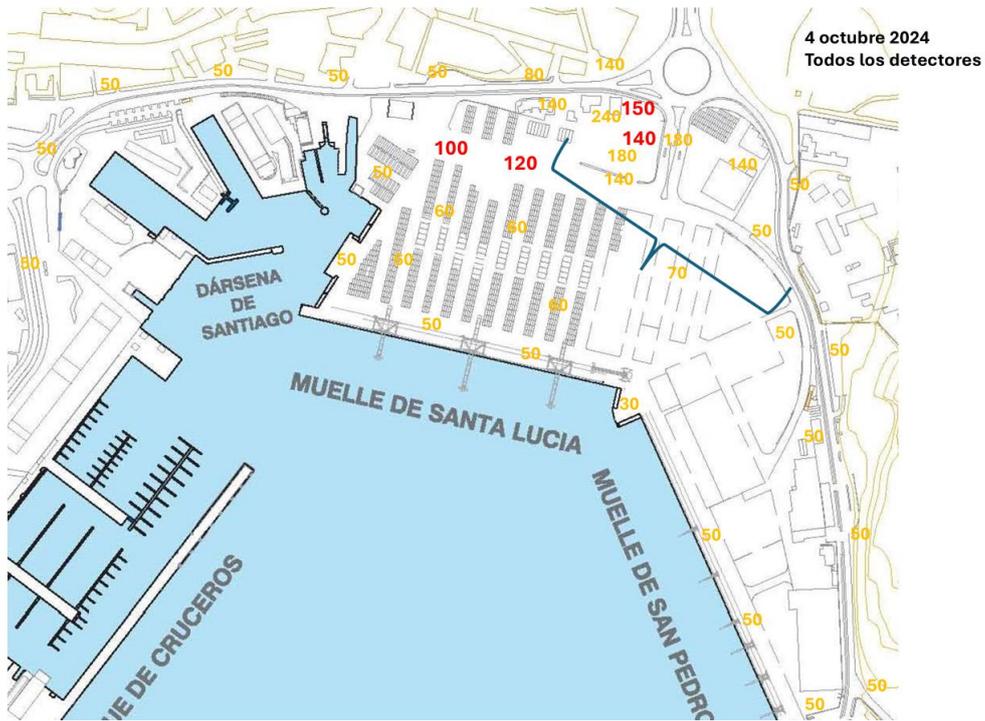


Figura 3. Resultados numéricos de las mediciones en diferentes partes del puerto. Dársena de Santiago y muelles de Santa Lucía y San Pedro.

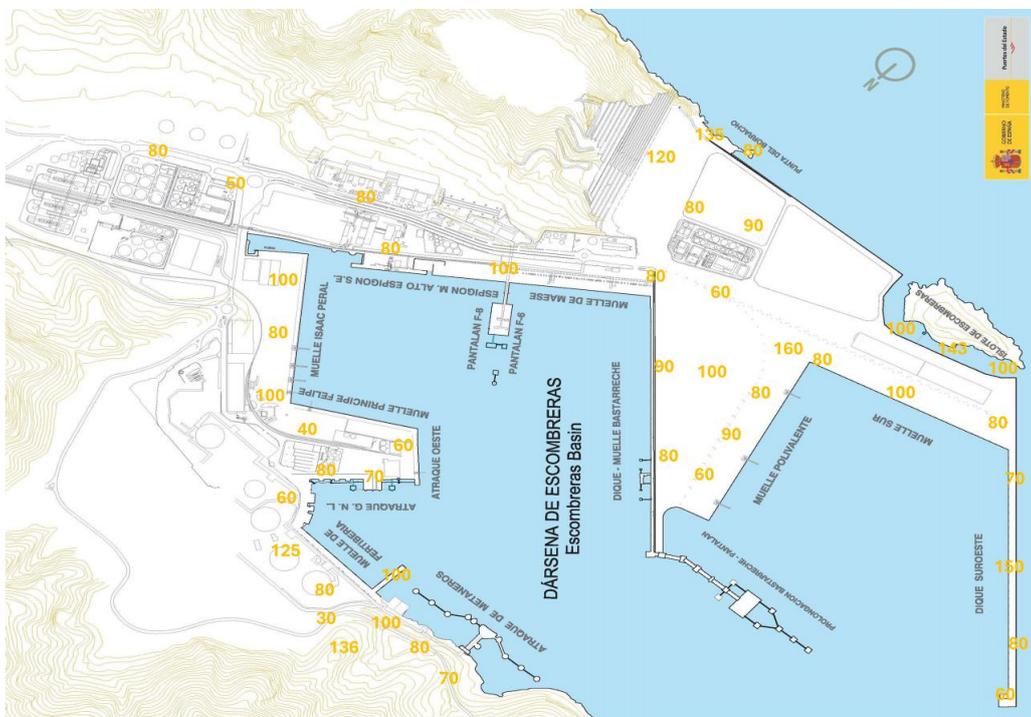


Figura 4.

BIBLIOGRAFÍA

1. Workshop Internacional de Emergencias sobre Intervención Operativa en Riesgos Tecnológicos [Internet]. [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://media.upct.es/portfolio/?id=146>
2. Consejo de Seguridad Nuclear. Dosis de radiación [Internet]. 2010 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/914805/Dosis%20de%20radiaci%C3%B3n>
3. Consejo de Seguridad Nuclear. Estudio y evaluación del impacto radiológico producido por las actividades de diversas industrias no nucleares del sur de España: Industrias de ácido fosfórico. Colección Informes Técnicos 29.2011 [Internet]. 2011 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.csn.es/documents/10182/27786/INT-04-25+Estudio+y+evaluaci%C3%B3n+del+impacto+radiol%C3%B3gico+producido+por+las+actividades+de+diversas+industrias+no+nucleares+del+sur+de+Espa%C3%A1.+Industrias+de+%C3%A1cido+fosf%C3%B3rico>
4. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. La vigilancia radiológica ambiental en España [Internet]. 2023 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.miteco.gob.es/content/dam/mitesco/es/estadistica/temas/estadisticas-ambientales/4_10_tcm30-127321.pdf
5. Dirección General de Protección Civil y Emergencias. Red de Alerta a la Radiactividad (RAR): Informe 2020 [Internet]. 2021 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: <https://www.proteccioncivil.es/documents/20121/0/Informe-Anual-2020.pdf/70a5220a-ddb3-2778-a2d0-562fa527d3a1>
6. International Atomic Energy Agency. Extent of Environmental Contamination by Naturally Occurring Radioactive Material (NORM) and Technological Options for Mitigation. Vienna: IAEA; 2003 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TRS419_web.pdf
7. International Atomic Energy Agency. Radioactivity Monitoring of the Irish Marine Environment 2000 and 2001. RPII-03/3. Vienna: IAEA; 2003. [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: https://inis.iaea.org/collection/NCLCollectionStore/_Public/35/068/35068435.pdf
8. Haveman JD, Shatz HJ, editors. Protecting the Nation's Seaports: Balancing Security and Cost. San Francisco: Public Policy Institute of California; 2006. [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.ppic.org/wp-content/uploads/content/pubs/report/R_606JHR.pdf
9. Righi S, Luciali P, Pollini E. Radiation exposure related to the shipment of fertilisers to and from commercial ports: The case study of the seaport of Ravenna (Italy). J Radiol Prot. 2014;34(1):193–206. <https://doi.org/10.1088/0952-4746/34/1/63>

10. Landa ER, George S. Naturally occurring radionuclides from industrial sources: characteristics and fate in the environment. *Radioact Environ.* 2007;10:211–37. [https://doi.org/10.1016/S1569-4860\(06\)10010-8](https://doi.org/10.1016/S1569-4860(06)10010-8)
11. Veiga R, Sanches N, Anjos RM, Macario K, Bastos J, Iguatemy M, et al. Measurement of natural radioactivity in Brazilian beach sands. *Radiat Meas.* 2006;41(2):189–196. <https://doi.org/10.1016/j.radmeas.2005.05.001>
12. Ligeró RA, Ramos-Lerate I, Barrera M, Casas-Ruiz M. Relationships between sea-bed radionuclide activities and some sedimentological variables. *J Environ Radioact.* 2001;57(1):7–19. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(00\)00213-7](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(00)00213-7)
13. Akram M, Qureshi RM, Ahmad N, Solaija TJ. Gamma-emitting radionuclides in the shallow marine sediments off the Sindh coast, Arabian Sea. *Radiat Prot Dosimetry.* 2006;118(4):440–7. <https://doi.org/10.1093/rpd/nci355>
14. Rubio L, Linares-Rueda A, Dueñas C, Fernández MC, Clavero V, Niell FX, Fernández JA. Sediment accumulation rate and radiological characterisation of the sediment of Palmones River estuary (southern of Spain). *J Environ Radioact.* 2003;65(3):267–80. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(02\)00102-9](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(02)00102-9)
15. Villarreal A. El hombre que detectó uranio en Cartagena: "Esto, cuanto menos lo movamos, mejor". *El Confidencial* [Internet]. 2018 oct 4 [citado el 25 de octubre de 2023]. Disponible en: https://www.elconfidencial.com/tecnologia/ciencia/2018-10-04/radiactividad-hondon-cartagena-csn-murcia_1625361/
16. Autor desconocido. El Consejo de Seguridad Nuclear detecta radiactividad en El Hondón. *La Verdad* [Internet]. 4 de octubre de 2018 [citado 25 de octubre de 2023]; sección Cartagena. Disponible en: <https://www.laverdad.es/murcia/cartagena/consejo-seguridad-nuclear-20181004011838-ntvo.html>
17. Autor desconocido. Adif contribuirá a descontaminar los terrenos de El Hondón. *La Verdad* [Internet]. 23 de enero de 2023 [citado 25 de octubre de 2023]; sección Cartagena. Disponible en: <https://www.laverdad.es/murcia/cartagena/adif-contribuir-descontaminar-20230123215428-ntvo.html>
18. Autor desconocido. Personal del Consejo de Seguridad Nuclear verificará el estado de los terrenos contaminados de El Hondón. *Onda Regional de Murcia* [Internet]. 22 de febrero de 2019 [citado 25 de octubre de 2023]; sección Cartagena. Disponible en: <https://www.orm.es/informativos/noticias-2019/personal-del-consejo-de-seguridad-nuclear-verificara-el-estado-de-los-terrenos-contaminados-de-el-hondon/>
19. Autor desconocido. La tierra de Palomares llegará a Cartagena en 6.000 camiones. *La Opinión de Murcia* [Internet]. 25 de octubre de 2015 [citado 25 de octubre de 2023]; sección Cartagena. Disponible en: <https://www.laopiniondemurcia.es/cartagena/2015/10/25/tierra-palomares-llegara-cartagena-6-32150198.html>

20. Autor desconocido. España y Estados Unidos sopesan trasladar la tierra contaminada de Palomares a El Hondón. La Verdad [Internet]. 10 de marzo de 2016 [citado 25 de octubre de 2023]; sección Cartagena. Disponible en:
<https://www.laverdad.es/murcia/cartagena/201603/10/espana-estados-unidos-sopesan-20160310131155.html>
21. Consejo de Seguridad Nuclear. Monografía del Comité Asesor para la Información y Participación Pública. Palomares: en el camino de la normalización radiológica. Madrid: CSN; 2013. [citado 25 de octubre de 2023]. Disponible en:
<https://www.csn.es/monografia>
22. Autoridad Portuaria de Cartagena. Puerto y dársenas [Internet]. [citado 25 de octubre de 2023] Disponible en:
<https://www.apc.es/webapc/puerto/condgenaccess/puertoydarsenas>.

PAPEL DE ENFERMERÍA EN EL MANEJO DE PACIENTES CON HEPATOCARCINOMA TRATADOS CON Y⁹⁰

Olga Fernández Sánchez, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños
Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia

olga.fernandezs1@um.es, jlfn@um.es, anamaria.mercado@um.es, mab@um.es

RESUMEN

La radioembolización es un tratamiento de medicina nuclear ampliamente utilizado en el carcinoma hepatocelular que requiere un correcto diseño del tratamiento para evitar daños en órganos vecinos. Enfermería desempeña un importante trabajo durante todo el proceso como es la verificación del paciente en la fase preoperatoria, la administración de fármacos y fluidoterapia necesaria y la monitorización constante del paciente. Además, los diagnósticos enfermeros a través de los signos y síntomas permiten realizar un plan de cuidados. El objetivo general de este trabajo es conocer el procedimiento de la radioembolización con Y90 en pacientes con carcinoma hepatocelular, destacando el papel que desempeña la enfermería y la importancia de la protección radiológica en el personal sanitario. Para esta revisión bibliográfica se ha recurrido a bases de datos como Pubmed, Dialnet, Scielo y Cochrane. De los 258 artículos inicialmente identificados, se seleccionaron 14 artículos relevantes para el estudio.

INTRODUCCIÓN

La radioembolización con microesferas de Itrio-90 (Y90) es una prometedora técnica dirigida a la terapia selectiva de cánceres de hígado quimioresistentes o no reseables. Desde hace más de 20 años la RE con Y90 ha usado dos tipos de microesferas: microesferas de vidrio (TheraSphere, Boston Scientific, Marlborough, MA, USA) o microesferas de resina (SIR-Sphere, Sirtex Medical, Australia). El tratamiento consiste en la colocación de dichas microesferas con Y90 en la arteria hepática bloqueando así el aporte de oxígeno y nutrientes al tumor. Debido a la diferenciada vascularización del hígado sano y el tumor, las microesferas se acumulan preferentemente en el tejido tumoral dando lugar a una irradiación local del tumor liberando el tejido hepático sano ^(1,2,6).

El Y90 es un radioisótopo emisor beta puro a circonio-90 con una energía de descomposición de 2.3 MeV, una vida media de 2.67 días y un poder de penetración en tejido

de 11 mm. Se obtiene a partir de la descomposición nuclear del Estroncio-90, que, a su vez, es obtenido a través del proceso de fisión del Uranio mediante reactores nucleares. Además, la verificación cuantitativa por imagen es posible tanto en el SPECT, a partir de la radiación de frenado inducida, como en el PET, explotando la pequeña fracción de desintegración de positrones (32ppm) ^(1,17,21).

El carcinoma hepatocelular es el tipo más frecuente de cáncer primario de hígado. Se estima que entre el 60 y el 90% de los hepatocarcinomas están asociados a cirrosis, proceso por el cual las células dañadas del hígado son reemplazadas por tejido cicatricial llamados nódulos fibrosos que van aumentando en la superficie del hígado conforme avanza el tejido sustitutivo provocando así una pérdida progresiva de la función hepática.

La causa de origen no vírico más importante capaz de provocar cirrosis, y por tanto de desencadenar cáncer de hígado, es el consumo de alcohol.

Las infecciones crónicas por el virus de la hepatitis B y de la hepatitis C, ambas causantes de cirrosis, son dos factores frecuentemente asociados al desarrollo del cáncer de hígado. De hecho, las personas portadoras del virus de la hepatitis B presentan un riesgo aproximadamente 100 veces superior al de la población general de desarrollar cáncer primario del hígado.

Otras menos frecuentes son: el acúmulo en exceso de hierro en el hígado (hemocromatosis), las aflatoxinas derivadas de un hongo capaz de contaminar ciertos alimentos, la desnutrición, y el polvo de cloruro de vinilo (asociado más frecuentemente con el angiosarcoma).

Los síntomas del carcinoma hepatocelular son inespecíficos, de hecho, la mayoría de los pacientes pueden permanecer asintomáticos en el momento del diagnóstico. Los síntomas más comunes son:

- Fatiga o debilidad
- Pérdida de peso sin causa justificada
- Dolor persistente en la zona central superior del abdomen
- Hinchazón abdominal generalizado progresivo
- Ictericia en piel y ojos

La principal arma diagnóstica es el cribado ecográfico semestral en pacientes con cirrosis previa. A pesar del cribado en pacientes con cirrosis, una gran parte de los casos se diagnostica en etapas avanzadas de la enfermedad. Si se realiza un diagnóstico en etapas iniciales de la enfermedad permite conseguir una supervivencia a 5 años del 70% ^(7,8).

El objetivo general de este trabajo es conocer la radioembolización con Y90 en pacientes con hepatocarcinoma y, a su vez, se establecen una serie de objetivos específicos:

- Determinar el proceso de actuación como enfermero en el tratamiento con Y90.
- Identificar la importancia de la protección radiológica en los profesionales sanitarios con el uso del Y90.

CONTENIDO

El presente trabajo se trata de una revisión bibliográfica basada en la identificación de artículos, recurriendo a numerosas bases de datos y revistas científicas, cuyo objetivo es encontrar evidencia sobre el manejo técnico que tiene enfermería en el tratamiento de hepatocarcinomas con radioembolización usando Y⁹⁰.

ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA Y SELECCIÓN DE ARTÍCULOS

El proceso de trabajo en este proyecto se describe en las siguientes fases: deficiente de criterios de selección, búsqueda bibliográfica de la literatura científica relevante publicada, selección de los títulos y resúmenes que cumplan con los criterios establecidos, revisión de los artículos, análisis y síntesis de la información obtenida.

Se analizó una serie de publicaciones sobre el tratamiento de hepatocarcinoma con radioembolización, recogidas en artículos de revistas, libros, revisiones sistemáticas y ensayos clínicos, tanto nacionales como internacionales. Estas publicaciones se obtuvieron en bases de datos como PubMed, Scielo, Dialnet y Cochrane.

A su vez, para completar la búsqueda se ha consultado el buscador científico Google Académico se han revisado algunos documentos de sociedades científicas como la OMS, Semnim y SEOM. El periodo de búsqueda empleado comprende de Febrero-Mayo del 2024. Para llevar a cabo la selección de publicaciones y obtener mayor exclusividad, se tuvo en cuenta la siguiente pregunta PICO sin el elemento “C” debido a que al ser una revisión bibliográfica no procede una comparación de resultado:

¿Qué papel tiene enfermería en pacientes con hepatocarcinoma sometidos a una radioembolización con Y90?:

- P: Paciente con hepatocarcinoma
- I: Radioembolización con Y⁹⁰
- O: Papel de enfermería en el tratamiento de hepatocarcinoma

Descriptores DECS-MESH

Para la determinación de los descriptores a utilizar, se busca en la biblioteca virtual y se obtienen los siguientes resultados:

- “Radioembolización” o “Radioembolization”
- “Medicina nuclear” o “Nuclear Medicine”
- “Carcinoma hepatocelular” o “Carcinoma Hepatocellular”
- “Radioisótopos de Ytrio” o “Yttrium Radiosotopes”
- “Enfermería radiológica y de imágenes” o “Radiológica and Imaging nursing”
- “Protección radiológica” o “Radiation protection”
- “Pacientes” o “Patients”

CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

Los criterios de inclusión y de exclusión que se tuvieron en cuenta para la inclusión de los artículos de referencia quedan reflejados en la Tabla I.

TABLA I. CRITERIOS DE SELECCIÓN

Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Artículos en español, inglés y portugués	Artículos que no estén en español, inglés y portugués
Artículos con menos de 10 años de antigüedad	Artículos con más de 10 años de antigüedad
Referencia explícita sobre el abordaje de la radioembolización con Y90	Trabajos que abordan situaciones o casos clínicos en concreto
Acceso gratuito al texto completo	Imposibilidad del acceso al texto completo de forma gratuita

Para terminar de delimitar la búsqueda se realizó la combinación de las cadenas de búsqueda formadas por los descriptores DECS/MESH (Tabla II).

TABLA II. PERFIL DE BÚSQUEDA

	Pubmed	Cochrane	Scielo	Dialnet
Radioembolization AND Carcinoma hepatocellular AND Yttrium radioisotope	131	1	1	2
Nuclear Medicine AND Radiation Protection AND Radiologic and Imagin	9	0	1	0
Health Personal AND Radiation protection AND Carcinoma Hepatocellular	3	0	8	1
Carcinoma hepatocellular AND Nuclear Medicine OR Yttrium Radiosotopes	46	1	24	2
Radiation protection AND Carcinoma Hepatocellular AND Health personal AND Patients	2	0	3	3

RESULTADOS

DIAGRAMA DE FLUJO

El procedimiento inclusión de los artículos empleados en este trabajo se representó gráficamente en el siguiente diagrama de flujo (Figura 1):

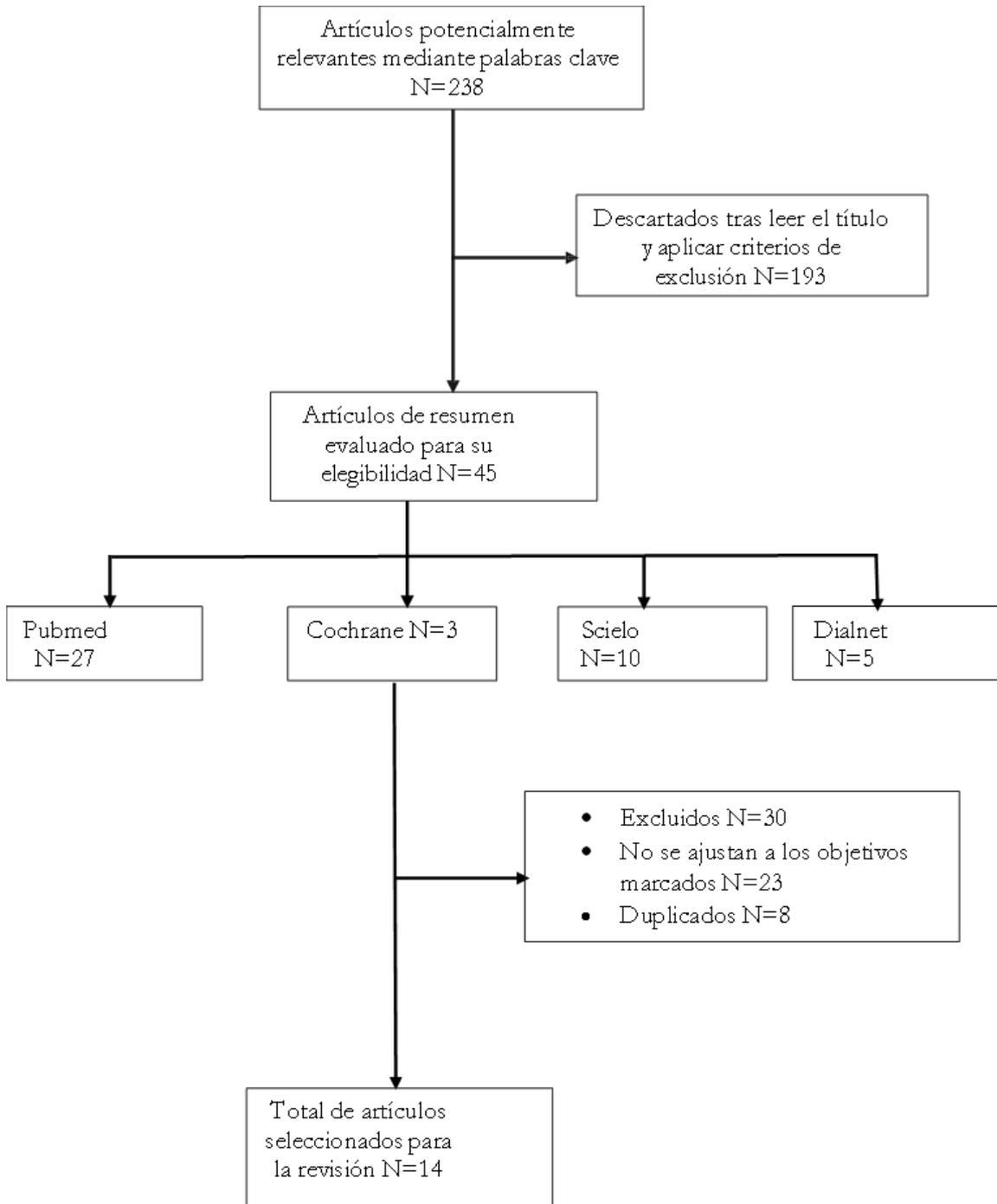


Figura 1. Diagrama de flujo de la información.

SÍNTESIS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

Para el análisis de resultados se valoraron y revisaron un total de 15 artículos. En la siguiente tabla (Tabla III) se pueden observar los artículos utilizados.

TABLA III. ARTÍCULOS SELECCIONADOS PARA EL ANÁLISIS.

Título	Autores	Año de publicación	Diseño	Fuente	Idea
Perspectives for yttrium-90 radioembolization as therapeutic option for hepatocellular carcinoma ⁽²⁾	Marta Burrel, Patricia Bermúdez, Alejandro Forner González	2022	Revisión sistemática	Pubmed	La TARE ha mostrado un gran impacto en la supervivencia de los ensayos clínicos debido a que esta técnica utiliza la vascularización arterial exclusiva del HCC por lo que permite una administración selectiva de medicamentos en el tumor.
Interventions for unresectable intrahepatic cholangiocarcinoma: a network meta-analysis ⁽⁶⁾	Andrew Tran, Menelaos Konstantinidis, John Moon, Noura El Sehemawi, Katya Ferreira, Peiman Habibollahi, Bruno C Odisio	2022	Metanálisis	Cochrane	Mediante un metanálisis sobre distintos estudios se clasifica la alta eficacia de la TARE junto con TACE en aquellos casos que no hay resección hepática.
Transarterial Radioembolization with Yttrium-90 for the Treatment of Hepatocellular Carcinoma ⁽³⁾	Joseph Ralph, Ahmed Gabriel, Riad Salem, Robert J	2016	Revisión sistemática	Pubmed	La TARE es más seguro y eficaz debido a que presenta una menor toxicidad que la TACE en aquellos pacientes con un HCC irresecable.
Trans-arterial radioembolization in intermediate-advanced hepatocellular carcinoma: systematic review and meta-analyses ⁽⁴⁾	Carla Rogoni, Oriana Ciani, Silvia Somariva, Antonio Facciorusso, Rosana Tarricone, Sherrie Bohorri, Vincenzo Mazzaferro	2016	Metanálisis	Pubmed	Este metanálisis recoge los artículos publicados sobre el uso de la TARE en casos de HCC en estados avanzados e intermedios.

Personnel dose reduction in 90Y microspheres liver-directed radioembolization: from interventional radiology suite to patient ward ⁽¹⁸⁾	Martin Law, K Wong, w Tso, Victor Lee, M Luk, C Tong, Fernindau Chu	2016	Estudio cohortes prospectivo	Pubmed	La dosis de radiación recibida por parte del médico radiólogo en pecho y mano se reduce significativamente con el uso de la manta forrada en plomo.
Occupational dose and associated factors during transarterial chemoembolization of hepatocellular carcinoma using real-time dosimetry: A simple way to reduce radiation exposure ⁽¹⁷⁾	Hyoung Kim, Byung Chan, Chan Park, Jae Kyu, Jonás Eun, Hyo Soon, Won Gi, Won-Ju Park	2022	Estudio cohortes retrospectivo	Pubmed	Mediante un dosimétrico personal se analizó la dosis absorbida en todo el personal sanitario y asistentes en un total de 70 pacientes sometidos a TACE.
Radioembolization for the treatment of hepatocellular carcinoma ⁽⁵⁾	Hyo-Chelo kim	2017	Revisión sistemática	Pubmed	Las características esenciales de la TARE en aquellos HCC irresecables frente a la TACE están en auge en el continente asiático.
Mapa de cuidados para pacientes sometidos a procedimientos en servicios de medicina nuclear ⁽¹¹⁾	Cayetano Fernández, José Granero, Gabriel Aguilera	2014	Revisión sistemática	Scielo	Identificación y estandarización de los diagnósticos de enfermería en medicina nuclear.
Nursing care management in radiation protection in interventional radiology ⁽¹⁰⁾	Tiago Anderson, Marilu Terezinha, Alacoque Lorenzini	2022	Revisión sistemática	Scielo	La gestión enfermera en base a los conocimientos y aplicabilidad de protección radiológica generando un programa de calidad.
Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo ⁽¹⁶⁾	Carlos Úbeda, Diego Nocetti, Alonso Insulza, Carlos Oyarzún, Renato Alarcón	2018	Revisión sistemática	Scielo	Un documento guía sobre las principales magnitudes y unidades dosimétricas en procedimientos de Radiodiagnóstico e Intervencionismo
Transarterial radioembolization for liver tumors as neoadjuvant therapy: three case reports ⁽¹⁾	Vithor de Oliveira, Francisco Leonardo, Breno Boueri, Priscila Mina, Leonardo Guedes,	2020	Estudio de casos	Scielo	Casos clínicos de HCC en los que inicialmente son considerados irresecables y que utilizando TARE como terapia neoadyuvante se consigue disminuir y reseca el tumor.

	Ben-Hur Ferraz				
Radioembolización hepática con microesferas de itrio ⁽²¹⁾	Mercedes Iñarrairaegui, Bruno Sangro	2014	Revisión sistemática	Dialnet	Procedimiento de la radioembolización, mencionando sus complicaciones y efectos secundarios.
Carcinoma hepatocelular ⁽⁸⁾	L. Márquez, S. Alonso, J.L. Herrera, L. Carrión	2020	Revisión bibliográfica	Dialnet	Factores de riesgo, indicaciones terapéuticas y prevención del HCC.

Tras realizar una revisión de los artículos seleccionados, así como de sus características, resultados y análisis de la información contenida en ellos, se englobarán principalmente en 3 categorías, de manera que se pueda responder a los objetivos previamente mencionados:

PROCEDIMIENTO DE UNA RADIOEMBOLIZACIÓN CON Y⁹⁰ EN PACIENTES CON HEPATOCARCINOMA

Como primer paso en una radioembolización es la realización de una arteriografía hepática para examinar el tronco celiaco y la arteria hepática, así como posibles arterias colaterales extrahepáticas y diferenciar la vena porta (Imagen 1). Este estudio es muy importante debido a que el HCC puede presentar flujo sanguíneo de arterias colaterales y su desconocimiento puede causar consecuencias graves en el tratamiento, como es la inyección de isótopos radiactivos en el tracto gastrointestinal u otros órganos provocando úlceras, perforaciones o incluso necrosis. Durante este procedimiento se puede realizar una redistribución del flujo arterial hepático que consiste en la oclusión de arterias intra y extrahepáticas que influyen en el tumor de forma que se consigue una única rama arterial para acceder al tumor y la dosis acumulada sea máxima ^(5,6).

Una vez realizado el estudio del acceso hepático y la planificación del tratamiento, se procede a la segunda parte de dicha simulación previa a la inyección de Y⁹⁰. En esta fase se introducen partículas de TC^{99m} del mismo tamaño y comportamiento de las microesferas de Y⁹⁰. Tras 2 horas de la inyección de TC^{99m} se recomienda realizar un SPECT, preferiblemente un SPECT/TC, a partir del cual se confirmará la existencia de radiación fuera del perímetro tumoral que pueda dañar a órganos, valorar la perfusión del volumen hepático a tratar y calcular el volumen tumoral total ^(2,3,6).

Los criterios de selección de pacientes para poder realizar la TARE están regidos principalmente a su función hepática. Por un lado, los pacientes indicados para hacer esta terapia son aquellos que tienen tumores hepáticos primarios no resecables en el que el hígado

es el principal órgano afectado o de mayor repercusión clínica. Las contraindicaciones absolutas para dicha técnica son:

- Tratamiento previo con irradiación externa en el hígado.
- Presencia de ascitis o insuficiencia hepática.
- Existencia de una comunicación hepatopulmonar (shunt) superior al 20%.
- Anomalías de vascularización hepática que puedan derivar en la irradiación de órganos adyacentes.

Por lo general, la TARE es bien tolerada los principales efectos adversos son de carácter leve y autolimitado en el tiempo. Los más comunes son:

- Náuseas y vómitos (20-30%)
- Molestias abdominales (20-50%)
- Fiebre (3-10%)
- Astenia (50-60%)

Las complicaciones más importantes derivan de la irradiación a órganos vecinos, dichas complicaciones se pueden evitar en su mayoría con una exhaustiva valoración angiográfica previa y una buena selección de pacientes ^(4,6).

Por otro lado, numerosos estudios clínicos aleatorizados recogidos en dicha revisión sistemática ⁽⁴⁾ determina que la descompensación hepática post-TARE y fracaso del tratamiento está relacionado con la duración y tipos de tratamientos previos a la TARE.

La descompensación hepática fue más probable en pacientes con múltiples terapias pre-TARE y cirrosis.



Imagen 1. Arteriografía pre-post radioembolización ⁽²¹⁾

IMPLICACIÓN DEL PERSONAL DE ENFERMERÍA DURANTE EL PROCEDIMIENTO DE RADIOEMBOLIZACIÓN IDENTIFICANDO

LOS PRINCIPALES DIAGNÓSTICOS ENFERMEROS EN MEDICINA NUCLEAR

En una radioembolización debe haber al menos 2 enfermeras, la enfermera instrumentista y la enfermera circulante o anestesista. La enfermera circulante es la que se encarga de verificar los datos del paciente, el consentimiento informado de dicha técnica, comprobar los niveles de coagulación del paciente e informarle del proceso al que va a ser sometido. El paciente debe llevar una vía venosa periférica para la administración de fluidos y fármacos posteriormente en el quirófano ^(9,10).

Según el protocolo del servicio de radiodiagnóstico del hospital universitario de Albacete, la comprobación y registro de pulsos distales y la medición de presión arterial de miembros inferiores antes y durante todo el proceso disminuye el riesgo de posibles complicaciones posteriores a la intervención ⁽¹²⁾.

El paciente una vez en el quirófano, la enfermera circulante o anestesista será la encargada de la administración de los fármacos anestésicos prescritos por el anestesista y de canalizar una vía arterial mediante la Técnica de Seldinger (Imagen 2) ^(10,12). Las principales complicaciones de la canalización de una arteria son:

- Hematomas en el lugar de punción
- Infecciones
- Trombosis y/o obstrucción
- Embolia
- Isquemia distal
- Lesión en estructuras nerviosas adyacentes
- Fístula arteriovenosa iatrogénica
- Mala señal de onda y dificultad para implementar la monitorización invasiva

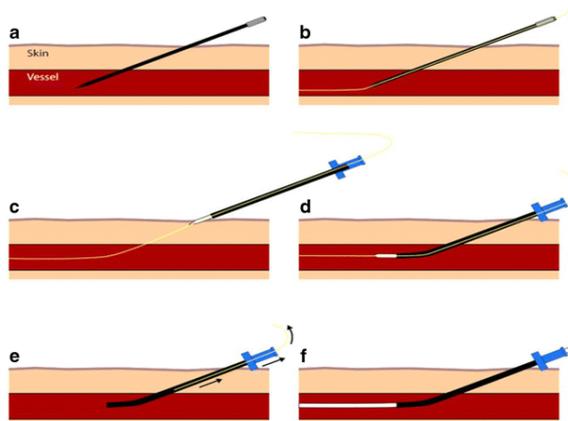


Imagen 2. Técnica de Seldinger ⁽²²⁾

El estudio (Mapa de cuidados para pacientes sometidos a procedimientos en servicios de medicina nuclear) desarrolló un instrumento de medida en base a las necesidades y manifestaciones que tiene el paciente en un servicio de medicina nuclear. Se recogieron los principales diagnósticos enfermeros en aquellos pacientes que requerían de una intervención radiológica y administración de radiofármacos.

- [00004] Riesgo de infección r/c procedimiento invasivo **Dominio 11:** Seguridad/protección **Clase 1:** Infección
- [00105] Interrupción de la lactancia materna r/c contraindicación para la lactancia materna **Dominio 2:** Nutrición **Clase 1:** Ingestión
- [00217] Riesgo de reacción alérgica r/c exposición a alérgenos **Dominio 11:** Seguridad/protección **Clase 5:** Procesos defensivos.
- [00291] Riesgo de trombosis r/c procedimientos intravasculares **Dominio 4:** Actividad/Reposo **Clase 4:** Respuestas cardiovasculares/pulmonares.
- [00126] Conocimientos deficientes r/c conocimientos inadecuados sobre los recursos **Dominio 5:** Percepción/Cognición **Clase 4:** Cognición
- [00085] Deterioro de la movilidad física r/c restricción de la movilidad prescrita m/p disminución de la tolerancia a la actividad **Dominio 4:** Actividad/reposo **Clase 2:** Actividad /Ejercicio

IMPORTANCIA DE LA PROTECCIÓN RADIOLÓGICA EN EL PERSONAL SANITARIO

Las magnitudes de protección radiológica están adoptadas por la ICRP basándose en la medición de la energía depositada en órganos y tejidos del cuerpo humano. La ICRP relaciona la dosis de radiación y el daño que puede producir en órganos y tejidos en función de su sensibilidad y del tipo de radiación ionizante y así determinar las dosis máximas que suponen un riesgo biológico. La protección radiológica está principalmente interesada en la protección contra el cáncer y las enfermedades hereditarias inducidas por la radiación. Estos efectos de la radiación ionizante se consideran de naturaleza probabilística y totalmente relacionados en proporción con la dosis absorbida ^(16,18).

En el estudio ⁽¹⁸⁾ se utilizó una manta forrada de plomo con un grosor de 0,5mg para cubrir el abdomen del paciente inmediatamente después del procedimiento de radioembolización con Y90, con el fin de reducir la radiación emitida por el paciente. Se midió la dosis absorbida por el radiólogo intervencionista en el momento del control de hemostasia tras la intervención en la que el médico utiliza una varilla metálica sobre el lugar de la punción con

el fin de evitar el contacto directo de con la posible radiactividad residual en el sitio de punción. La tasa de dosis absorbida se midió en la mano del radiólogo intervencionista en el momento del control de la hemostasia en el lugar de la punción con y sin la manta plomada. Como resultado la dosis en absorbida disminuyo significativamente con el uso de la manta plomada, sin el uso de la manta plomada la dosis absorbida promedia es de $1,43\mu\text{Sv}$ con el uso de la manta plomada de $0,71\mu\text{Sv}$.

La protección radiológica tiene un gran peso en la unidad de medicina nuclear debido a que es la rama encargada de minimizar los riesgos biológicos, aportando la calidad y seguridad a los profesionales sanitarios que intervienen en ella. Por ello, se han recogido las siguientes recomendaciones expuestas protocolos y manuales de enfermería del Hospital Virgen de la Arrixaca ^(13,14,15):

- Asegurar que la exposición a la radiación ionizante se mantiene "tan baja como sea razonablemente práctico".
- Prevenir pérdidas de la fuente radiactiva.
- Prevenir la contaminación del medio ambiente, que incluye el área de los pacientes, así como factores tales como la eliminación segura de los residuos y lavado seguro de ropa contaminada.
- Empleo de un asesor de protección de la radiación que asesorará en todos los aspectos de protección radiológica y de supervisores de protección radiológica en cada departamento, que serán responsables de asegurar el mantenimiento de las normas.
- Formación de comités de seguridad de radiación donde los usuarios, gestores y asesores pueden discutir todos los asuntos relacionados con la protección radiológica.
- Provisión de zonas controladas, zonas vigiladas y equipos tales como dosímetros y monitores ambientales.
- Elaboración de normas para cada zona controlada y supervisada, con información que permita al personal entrar en la habitación para trabajar con seguridad, así como los nombres de los que pueden trabajar en la zona. Elaboración de protocolos de trabajo que describan en detalle cómo deben llevarse a cabo los procedimientos. Asegurar que se adopta y proporciona capacitación para todo el personal involucrado en el uso de radiaciones ionizantes.
- Las enfermeras deben ser conscientes de los problemas de seguridad que rodean el uso diagnóstico y terapéutico de la radiación ionizante para que puedan trabajar con seguridad y confianza.

DISCUSIÓN

Tras el análisis y comparación de la información obtenida por los distintos artículos seleccionados para esta revisión bibliográfica, se concluye que la radioembolización con Y90 es una técnica de medicina nuclear con una alta tasa de éxito (llegando incluso al 90% de los casos) en aquellos pacientes con carcinoma hepatocelular que por su localización y extensión no pueden ser resecados mediante cirugía.

Los estudios publicados ^(8,5), sostienen que la relación riesgo-beneficio de la radioembolización en pacientes con CHC irresecable es altamente positiva, poniendo en manifiesto las principales complicaciones que pueden presentas dichos pacientes. Estas complicaciones ordenadas de mayor a menor incidencia son la astenia generalizada en todo el cuerpo, molestias abdominales como náuseas, vómitos y fiebre en último lugar. Por otro lado, un estudio ⁽¹²⁾ muestra la importancia de las complicaciones derivadas del lugar de punción para la canalización de la arteria femoral. Estas complicaciones pueden ir desde un hematoma localizado hasta una isquemia distal si no hay una continua medición de los pulsos y temperatura en los miembros inferiores. Sin embargo, varios estudios ^(5,6) muestran que la complicación más importante de esta técnica es la irradiación a órganos vecinos causando incluso la necrosis de estos. Para evitar este suceso insisten en la importancia de realizar una arteriografía hepática para obtener con detalle todas las ramificaciones arteriales y posibles bifurcaciones a tener en cuenta en el desarrollo del plan de tratamiento.

La exposición a la radiación en una radioembolización con Y90 es un riesgo inmanente. Dado esto el riesgo biológico de la exposición a la radiación está relacionado con la magnitud de dosis radiactiva de la técnica, provocando efectos nocivos y de carácter acumulativo en el personal sanitario. Todos los artículos aluden la importancia de la estandarización de protocolos de actuación frente a las normas de protección radiológica para que dichos efectos sean siempre los mínimos posibles. El autor Martin Law y colaboradores ⁽¹⁸⁾ concluyó con su estudio que el uso de una manta plomada no un grosor de 0,5 mm reducía la dosis absorbida en casi un 50%, concluyendo que esta técnica presenta un grado de recomendación alto.

La estandarización y abordaje de los diagnósticos enfermeros permiten identificar los problemas asociados en los pacientes que han sido sometidos a un radioembolización con Y90 y por otro lado resaltan los diagnóstico de riesgo asociados a la exposición radiológica en el personal sanitario. La corriente de la protección radiológica ⁽¹¹⁾ tiene que ir en correlación tanto del equipo médico como enfermero para poder establecer protocolos seguros y efectivos.

En cuanto a las limitaciones de este trabajo destacamos la traducción de los estudios en inglés, el gran número de artículos descartados por no ajustarse a los criterios de inclusión y el corto periodo de tiempo para realizar la revisión bibliográfica.

CONCLUSIÓN

Este trabajo alude a la importancia de la protección radiológica en el personal sanitario, el papel enfermero como partícipe en una radioembolización y la descripción de dicha técnica. De modo que, tras realizar la revisión bibliográfica seleccionada, se concluye que la radioembolización con Y90 supone una opción terapéutica propicia para el tratamiento del carcinoma hepatocelular en los casos en los que no está la posibilidad de resección mediante cirugía.

La evidencia científica disponible hace hincapié en la relación efectiva entre la implicación de un equipo multidisciplinar y la selección exhaustiva de los pacientes, mejorando así, la supervivencia de pacientes con HCC. En concreto, en el caso de enfermería, la estandarización de los diagnósticos enfermeros relacionados con la radioembolización y su formación en protección radiológica permiten que las técnicas sean seguras y por lo tanto obtener unos resultados clínicos favorables.

La exposición directa con elementos radiactivos, en este caso Y90, supone la necesidad de reforzar las medidas de protección radiológica oportunas para proteger tanto al personal sanitario como a los pacientes de los riesgos asociados, sugiriendo así una mayor formación e implementación de protocolos específicos que ayuden a mejorar la calidad del cuidado ofrecido. Así mismo, destaca la necesidad de invertir en la investigación continua para establecer nuevas estrategias de tratamientos, minimizando los riesgos asociados y así, poder garantizar el bienestar del paciente y del personal sanitario.

BIBLIOGRAFÍA

1. Carvalho VO, Galastri FL, Affonso BB, Falsarella PM, Valle LGM, Ferraz-Neto BH, et al. Transarterial radioembolization for liver tumors as neoadjuvant therapy: three case reports. *Einstein (Sao Paulo)*. 2020;18:eRC4990. https://doi.org/10.31744/einstein_journal/2020RC4990
2. Burrel M, Bermúdez P, Forner González A. Perspectives for yttrium-90 radioembolization as therapeutic option for hepatocellular carcinoma. *Rev Esp Enferm Dig*. 2022;114(4):195–197. <https://doi.org/10.17235/reed.2022.8775/2022>

3. Kallini JR, Gabr A, Salem R, Lewandowski RJ. Transarterial radioembolization with yttrium-90 for the treatment of hepatocellular carcinoma. *Adv Ther.* 2016;33(5):699–714. <https://doi.org/10.1007/s12325-016-0324-7>
4. Rognoni C, Ciani O, Sommariva S, Facciorusso A, Tarricone R, Bhoori S, et al. Transarterial radioembolization in intermediate-advanced hepatocellular carcinoma: systematic review and meta-analyses. *Oncotarget.* 2016;7(44):72343–55. <https://doi.org/10.18632/oncotarget.11644>
5. Kim HC. Radioembolization for the treatment of hepatocellular carcinoma. *Clin Mol Hepatol.* 2017;23(2):109–14. <https://doi.org/10.3350/cmh.2017.0004>
6. Tran A, Konstantinidis M, Moon J, Al-Juboori A, Shabihkhani M, Singh G, et al. Interventions for unresectable intrahepatic cholangiocarcinoma: a network meta-analysis. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;12:CD015159. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD015159>
7. Sociedad Española de Oncología Médica (SEOM). Cáncer de hígado [Internet]. 2022 [citado el 9 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://seom.org/info-sobre-el-cancer/higado?showall=1&showall=1>
8. Pérez LM, López SA, Fajes JLH, Martín LC. Carcinoma hepatocelular. *Medicine.* 2020;13(12):653–65. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.med.2020.06.019>
9. Fernández Marco MA, Reyes Ripoll Córdoba J, Roy Guerrero L, Magadan Marcos MA, Puyal Alegret M, Fuertes Lahoz E. Atención de enfermería en medicina nuclear. *RSI - Revista Sanitaria de Investigación* [Internet]. 2023 [citado el 9 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/atencion-de-enfermeria-en-medicina-nuclear/>
10. Anderson TJ, Erdmann AL, Backes MTS. Nursing care management in radiation protection in interventional radiology. *Rev Gaucha Enferm.* 2022;43:e20210227. <https://doi.org/10.1590/1983-1447.2022.20210227.en>
11. Fernández Sola C, Granero Molina J, Aguilera Manrique G. Mapa de cuidados para pacientes sometidos a procedimientos en servicios de medicina nuclear. *Invest Educ Enferm.* 2009;27(1):118–30. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/1052/105213198013.pdf>
12. Complejo Hospitalario Universitario de Albacete. Punción arterial en radiología vascular intervencionista [Internet]. [citado el 9 de mayo de 2024]. Disponible en: https://www.chospab.es/enfermeria/pipe_nuevo/rx/vascular/5.htm
13. Murciasalud.es. Aislamiento de pacientes sometidos a pruebas diagnósticas con isótopos radiactivos [Internet]. Murcia: Servicio Murciano de Salud; 2014 [citado el 9 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.murciasalud.es/preev/20450#>
14. Carrasco Vela N, Tejedor Aguilar N, Giménez Gómez V, Torres Espallardo I. Dosimetría por imagen en radioembolización hepática con Y90: impacto de la

resolución espacial del PET. Rev Fis Med. 2021;22(2):43–48.

<https://doi.org/10.37004/sefm/2021.22.2.004>

15. del Carmen Rivera Aranda AB, Malagón DA, Higuera CI. Calidad y seguridad asistencial en la unidad de medicina nuclear [Internet]. Congresoenfermeria.com. [citado el 9 de mayo de 2024]. Disponible en:
<https://congresoenfermeria.com/libros/2016/sala1/4896.pdf>
16. Ubeda de la C C, Nocetti G D, Inzulza C A, Oyarzún C C, Alarcón E R. Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. Rev Chil Radiol. 2018;24(1):5–11.
<https://doi.org/10.4067/S0717-93082018000100005>
17. Kim HO, Lee BC, Park C, Kim JK, Park W-J, Lee JE, et al. Occupational dose and associated factors during transarterial chemoembolization of hepatocellular carcinoma using real-time dosimetry: A simple way to reduce radiation exposure. Medicine (Baltimore). 2022;101(4):e28744. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000028744>
18. Law M, Wong KK, Tso WK, Lee V, Luk MY, Tong CC, et al. Personnel dose reduction in 90Y microspheres liver-directed radioembolization: from interventional radiology suite to patient ward. Br J Radiol. 2017;90(1071):20160591.
<https://doi.org/10.1259/bjr.20160591>
19. Salem R, Padia SA, Lam M, Chiesa C, Haste P, Sangro B, et al. Clinical, dosimetric, and reporting considerations for Y-90 glass microspheres in hepatocellular carcinoma: updated 2022 recommendations from an international multidisciplinary working group. Eur J Nucl Med Mol Imaging. 2023;50(2):328–43.
<https://doi.org/10.1007/s00259-022-05956-w>
20. Riveira Martín M. Prevención de la exposición ocupacional a la radiación del personal de enfermería de Medicina Nuclear. Arch Prev Riesgos Labor [Internet]. 2023 [citado el 9 de mayo de 2024];26(3):229–33. Disponible en:
<https://archivosdeprevencion.eu/index.php/aprl/article/view/308/180>
21. Iñarrairaegui M, Sangro B. Radioembolización hepática con microesferas de itrio. Gastroenterol Hepatol Contin. 2009;8(4):197–202. [https://doi.org/10.1016/S1578-1550\(09\)71996-5](https://doi.org/10.1016/S1578-1550(09)71996-5)
22. Nasser F, Affonso BB, Galastri FL, Odisio BC, Garcia RG. Tratamiento mínimamente invasivo del adenoma hepático en casos especiales. Einstein (São Paulo). 2013;11(4):524–527. <https://doi.org/10.1590/S1679-45082013000400021>

PAPEL DE ENFERMERÍA EN GAMMAGRAFÍA RENAL DE PACIENTES TRASPLANTADOS RENALES

María Manchado Marín, José Luis Navarro Fernández, Ana María Mercado Díaz, Miguel Alcaraz Baños
Departamento de Radiología y Medicina Física. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia

maria.manchadom@um.es, jln@um.es, anamaria.mercado@um.es, mab@um.es

RESUMEN

El uso de técnicas de medicina nuclear presenta una gran utilidad para la valoración funcional y el establecimiento de diagnósticos con una invasión mínima, como es el caso de la gammagrafía renal en pacientes trasplantados. El objetivo del trabajo ha sido realizar una revisión bibliográfica de la literatura científica sobre la gammagrafía renal en pacientes trasplantados valorando la eficacia, el papel de enfermería, protocolo e indicaciones de esta técnica. Para ello, mediante una búsqueda bibliográfica se obtuvieron artículos con una antigüedad entre 2004-2014, en las bases de datos DIALNET, ELSEVIER, SCIELO y PUBMED, utilizando los descriptores: “gammagrafía”, “trasplante renal”, “enfermería”, “renograma”. Junto a esta búsqueda, se amplió la información con una búsqueda en: Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia y la Asociación Española de Medicamentos y Productos Sanitarios. Se seleccionaron 12, agrupándolos en 3 categorías distintas para poder realizar un análisis de la información según los objetivos planteados.

INTRODUCCIÓN

En el ámbito sanitario, la medicina nuclear pone de manifiesto su utilidad en la valoración funcional de manera no invasiva de patologías mediante el uso de radiofármacos.

Adentrándonos en lo referente al trasplante renal, sabemos hoy en día que se trata de la mejor alternativa de tratamiento para pacientes diagnosticados con una insuficiencia renal crónica, entre otras alternativas como diálisis peritoneal y hemodiálisis. En España, se tiene como dato que unas 50.000 personas están diagnosticadas de insuficiencia renal crónica, de las cuales el 50% presenta un trasplante renal ^(1,3). En este caso, nos centramos de manera más concreta en la utilidad que representa la medicina nuclear para la valoración del riñón trasplantado en el paciente ^(4,9).

Teniendo en cuenta la importancia de los riñones en nuestro organismo, se debe mencionar que son los órganos del cuerpo encargados especialmente del filtrado y limpieza de sustancias o productos de desecho en la sangre, junto a la eliminación de líquidos, mantenimiento del equilibrio sanguíneo y la producción de hormonas (como Vitamina D y eritropoyetina) ⁽¹⁾.

El hecho de que un paciente sea diagnosticado con una insuficiencia renal crónica lleva implícito una pérdida de la función renal, que desencadenará en un acúmulo de las sustancias de desecho en nuestro sistema sanguíneo, anuria, anemia, un aumento de la tensión arterial y problemas a nivel óseo ⁽¹⁾.

Teniendo presente la situación que puede presentar el paciente con insuficiencia renal crónica, el objetivo que pretende conseguir el trasplante renal es recuperar esa función renal perdida. En ocasiones, el trasplante se ejecuta antes de que la función renal se pierda completamente y en otros casos cuando ya está presente esa disminución de la función renal y el paciente se encuentra bajo tratamiento con hemodiálisis o diálisis peritoneal ⁽¹⁾.

Entre las posibles opciones para conseguir el injerto para el trasplante se encuentran: el injerto de un donante vivo, preferentemente de una persona joven (con este tipo de trasplantes se han conseguido unos resultados más beneficiosos) y la opción de un donante cadáver ^(1,3).

Gracias al trasplante renal se garantiza una mayor calidad de vida en el paciente, disminuyendo su dependencia en diálisis, el riesgo de mortalidad y alcanzando un aumento en la esperanza de vida ^(2,3).

Sin embargo, aunque el trasplante renal es una intervención que aporta numerosos beneficios para el paciente (mencionados anteriormente), pueden presentarse una serie de complicaciones que podrían comprometer la funcionalidad del injerto. Estas complicaciones las podemos agrupar en dos grupos:

- El primer grupo pertenece a aquellas complicaciones de fallo del parénquima renal causado por necrosis tubular aguda, rechazo, infección, toxicidad por drogas, etc. Dentro del rechazo que puede experimentar el paciente, distinguimos entre un rechazo hiperagudo (ocurre en las 48h tras la vascularización del injerto y obliga a su extirpación), el rechazo agudo (ocurre en los primeros meses tras el trasplante) y el rechazo crónico ⁽¹³⁾.
- El segundo grupo de complicaciones pertenece a las complicaciones quirúrgicas de origen vascular, colecciones, obstrucción ureteral, fugas ureterales o vesicales ⁽¹³⁾.

Conociendo las distintas complicaciones que pueden surgir en el trasplante renal, es imprescindible un abordaje adecuado durante su seguimiento. Para se realiza de manera

protocolizada dos técnicas: una ecografía Doppler (valoración morfológica) y una gammagrafía renal o renograma (valoración funcional) ^(3, 8).

Respecto a la gammagrafía renal, se realiza para conseguir un diagnóstico diferencial y una valoración del estado y funcionalidad de los injertos tras el trasplante. Siendo más concretos, con el uso de las gammagrafías renales o renogramas se pretende conseguir una valoración temprana post-trasplante del injerto evaluando su función para descartar la presencia o para el establecimiento de un diagnóstico precoz de la necrosis tubular aguda (TNA) o un rechazo (agudo, hiperagudo o crónico), poder diferenciar entre estenosis obstructivas o dilataciones de la unión pieloureteral, entre otras patologías ^(3, 4, 7).

Para conseguir realizar esta técnica, es preciso el uso de una sustancia denominada como radiofármaco. Dentro de esta categoría, debemos conocer que este radiofármaco está formado por dos componentes: el Tc99m que se trata de la sustancia radiactiva, encargada de la emisión de radiación y que permitirá la obtención de las imágenes en la gammagrafía y, por otro lado, el trazador que será el componente encargado de, una vez unido al Tc99m, dirigirlo al órgano de interés para conseguir que la radiación (y por tanto las imágenes de la gammagrafía) se obtengan de la zona a valorar. El trazador actúa de “vehículo” al mostrar cierta afinidad por determinadas estructuras u órganos. En el caso de una gammagrafía renal, el trazador de elección puede ser la Mercaptoacetiltriglicina (MAG 3) o Dietilentriamino-pentaacetato (DTPA) ^(3, 14).

Para poder conseguir en una gammagrafía renal eficaz, se establecen dos partes durante el desarrollo de la técnica:

- La primera parte consiste en la administración del radiofármaco en el paciente. Puede ser Tc99m- DTPA o Tc99m- MAG3. El objetivo de esta administración sería conseguir que esta sustancia viaje por el torrente sanguíneo hasta los riñones, donde será filtrado y eliminado por las vías urinarias ⁽¹⁵⁾.
- La segunda parte de la exploración hace referencia al momento de la toma de imágenes (planares o tomográficas) con el uso de la gammacámara. Estas imágenes se toman desde el momento de la administración del radiofármaco hasta 20-40 minutos después de su administración por vía intravenosa. La gammacámara será la cámara especial encargada de obtener esas imágenes con ayuda de un detector externo que captará la radiación emitida por el Tc99m a nivel del riñón ⁽¹⁵⁾.

Debemos tener en cuenta que esta técnica por sí misma no emite ningún tipo de radiación, es el propio paciente el que la emite una vez se le ha administrado el radiofármaco ⁽¹⁵⁾.

La finalidad de realizar la gammagrafía renal, como se ha mencionado anteriormente, es para poder indagar desde una valoración funcional el estado del órgano trasplantado y poder detectar de una manera eficaz y temprana la presencia de complicaciones o valorar un buen funcionamiento ^(3, 4).

CONTENIDO

Este trabajo está enfocado en la búsqueda y revisión de artículos acerca de la eficacia de la gammagrafía renal en la valoración del trasplante renal por medio del Tc99m- DTPA o Tc99m- MAG 3, así como la eficacia del papel de enfermería en esta intervención, empleando para ello numerosas bases de datos, páginas web y revistas científicas de interés.

CRITERIOS DE SELECCIÓN DE LOS ESTUDIOS

Entre las características que deben presentar los artículos que serán empleados para el desarrollo de este trabajo se encuentran las siguientes:

Los pacientes que formarán parte de la muestra deben ser aquellos que han sido sometidos a un trasplante renal. No se incluirán estudios sobre los efectos de diálisis en los pacientes, estudios enfocados en el donador del órgano, valoración de hipertensión arterial u otras patologías tras el trasplante renal.

La técnica de imagen a realizar en los distintos artículos/estudios debe ser una gammagrafía renal. Puede ser una gammagrafía renal realizada con Tc99m- DTPA o Tc99m- MAG 3. No se incluirán estudios donde la técnica a desarrollar sea un TAC, Eco Doppler o gammagrafía con I131.

Entre los resultados de los estudios debe quedar reflejado la efectividad de la intervención plasmando los resultados de las curvas tiempo/actividad, estudio de flujo y datos cuantitativos de perfusión, función y tránsito (en el caso de que se realicen en el estudio), la capacidad de la gammagrafía para detectar o no complicaciones de manera temprana en el paciente mediante la visualización por imagen.

BÚSQUEDA DE ARTÍCULOS/ESTUDIOS DE INTERÉS

Con el objetivo de encontrar artículos afines al trabajo a desarrollar, se llevó a cabo una búsqueda bibliográfica que incluye las siguientes fases: planteamiento de la pregunta PICO, selección de los componentes que conformarán la pregunta PICO, estableciendo los términos clave MESH y DECS, planteamiento de los criterios de inclusión y exclusión (idioma, antigüedad, acceso a la información completa, etc), búsqueda bibliográfica en

distintas bases de datos acerca de la literatura científica publicada de interés para los criterios establecidos, selección de aquellos artículos que cumplan con los criterios de selección, análisis de los artículos y síntesis de la información contenida.

PLANTEAMIENTO DE LA PREGUNTA PICO

De cara al desarrollo de este trabajo, es de vital importancia el planteamiento de una pregunta PICO que permita alcanzar el objetivo de este (Tabla I). De esta manera, la pregunta establecida presenta los siguientes componentes:

TABLA II. COMPONENTES PICO DE LA BÚSQUEDA

<i>P</i>	<i>Pacientes trasplantados renales</i>
<i>I</i>	<i>Gammagrafía renal con equipo de enfermería</i>
<i>C</i>	<i>No realización de Gammagrafía renal</i>
<i>O</i>	<i>Detección temprana de complicaciones</i>

SELECCIÓN DE DESCRIPTORES

Tras la selección y síntesis de la pregunta PICO y componentes, se procede de manera continuada a la selección de los descriptores que permitirán el acceso a los artículos de interés. Por ello, se emplearon los tesauros DECS y MESH, permitiendo la obtención de los descriptores necesarios para realizar la cadena de búsqueda. Se consiguieron los siguientes resultados (Tabla II):

TABLA II. DESCRIPTORES SELECCIONADOS PARA LAS CADENAS DE BÚSQUEDA

DECS	MESH
Cintigrafía	Radionuclide Imaging
Trasplante Renal	Kindeg Transplantation
Renograma	Radioisotope Renography
Diagnóstico	Diagnosis
Complicación	Complication
Enfermería	Nursing
Métodos	Methods

CRITERIOS DE INCLUSIÓN

Los criterios de inclusión utilizados para completar la búsqueda bibliográfica engloban aquellos artículos con idioma en castellano o inglés, texto completo, y, en un principio, con una antigüedad no superior a 5 años. Sin embargo, tras la escasa obtención de artículos, se optó por ampliar el rango de años de antigüedad en determinadas bases de datos. Se determinó una búsqueda entre 1995 hasta el año 2024.

CRITERIOS DE EXCUSIÓN

En cuanto a los criterios de exclusión para la no selección de artículos se tuvo en cuenta el idioma (si no se encontraba en los idiomas mencionados anteriormente), artículos sin acceso al texto completo o con información incompleta, artículos que no respondían a los criterios seleccionados y aquellos artículos que se encontraban fuera del rango de antigüedad de años establecido.

BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA EN BASES DE DATOS:

Una vez establecidos los descriptores de interés, criterios de inclusión y exclusión, se procedió a la búsqueda de artículos en distintas bases de datos: PubMed, Scielo, DIALNET y ELSEVIER. Con la combinación de los descriptores mencionados anteriormente junto a la utilización de los operadores booleanos AND y OR, se consiguió una búsqueda más precisa de los artículos de interés

De esta manera, se consiguieron las distintas cadenas de búsqueda:

- (Radionuclide Imaging) OR (Radioisotope Renography) AND (Kidney Transplantation)
- (Methods) AND (Radioisotope Renography)
- (Kidney Transplantation) AND (Radioisotope Renography)
- (Radionuclide Imaging) OR (Radioisotope Renography) AND (Nursing) AND (Kidney Transplantation)
- (Trasplante renal) AND (Renograma)
- (Trasplante renal) AND (Enfermería)
- (Gammagrafía renal) AND (Enfermería)
- (Radioisotope Renography) AND (Postoperative Complications) AND (Kidney Transplantation)
- (Kidney Transplantation) AND (Diagnosis) AND (Radionuclide Imaging)

RESULTADOS

Finalmente se obtuvieron los siguientes resultados de artículos con las distintas cadenas de búsqueda en las bases de datos (Tabla III):

TABLA III. RESULTADOS DE LA BÚSQUEDA BIBLIOGRÁFICA

Bases de Datos	Cadenas de búsqueda	Artículos Encontrados	Artículos Seleccionados
PubMed	((Radionuclide Imaging) OR (Radioisotope Renography)) AND (Kidney Transplantation)	57	2
PubMed	(Kidney Transplantation) AND (Radioisotope Renography)	34	8
PubMed	((Radionuclide Imaging) OR (Radioisotope Renography)) AND (Nursing) AND (Kidney Transplantation)	0	0
PubMed	(Methods) AND (Radioisotope Renography)	14	3
PubMed	(Radioisotope Renography) AND (Postoperative Complications) AND (Kidney Transplantation)	4	3
PubMed	(Kidney Transplantation) AND (Diagnosis) AND (Radionuclide Imaging)	57	4
DIALNET	(Trasplante renal) AND ((Renograma) OR (Gammagrafía Renal))	8	2
DIALNET	(Trasplante Renal) AND (Enfermería)	254	5
DIALNET	(Gammagrafía Renal) AND (Enfermería)	1	1
DIALNET	(Trasplante Renal) AND (Complicaciones) AND (Gammagrafía Renal)	3	2
DIALNET	(Trasplante Renal) AND (Diagnóstico) AND (Renograma)	7	3
ELSEVIER	(Trasplante renal) AND ((Renograma) OR (Gammagrafía Renal))	30	8
ELSEVIER	(Trasplante Renal) AND (Enfermería)	123	0
ELSEVIER	(Gammagrafía Renal) AND (Enfermería)	45	0
ELSEVIER	(Trasplante Renal) AND (Complicaciones) AND (Renograma)	23	3
SCIELO	(Renograma) AND ((Trasplante Renal) OR (Gammagrafía Renal))	2	2
SCIELO	(Trasplante Renal) AND (Enfermería)	42	2
SCIELO	(Gammagrafía Renal) AND (Enfermería)	0	0
TOTAL	(Trasplante Renal) AND (Enfermería)	704	48

Además de los artículos seleccionados para la realización de este trabajo, se completó con información de revistas sanitarias y la consulta en determinadas páginas web: Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia, Revista Sanitaria de Investigación y Asociación Española de Medicamentos y Productos Sanitarios.

DIAGRAMA DE FLUJO

La selección de documentos incluidos en este trabajo se reflejó gráficamente en la siguiente figura (Figura 1)

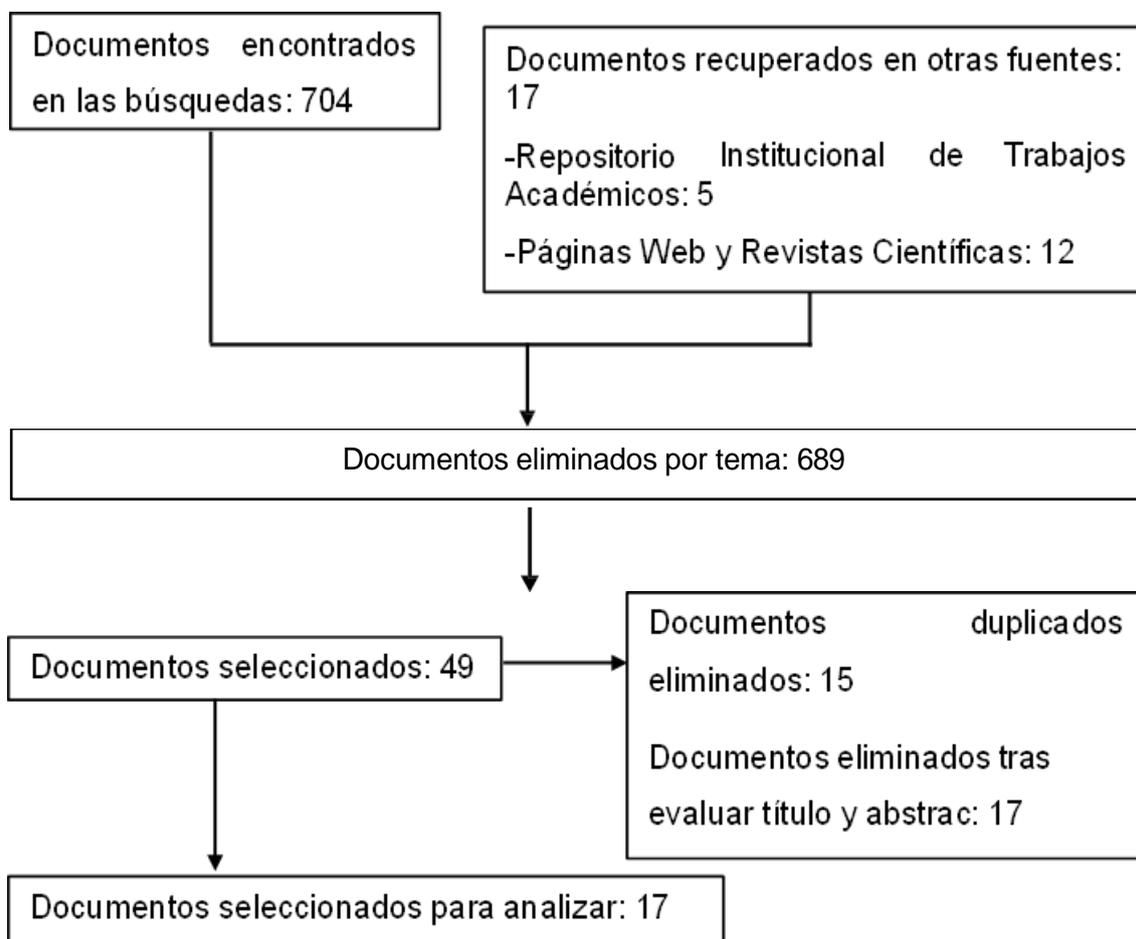


Figura 1: Diagrama de Flujo de la información

CARACTERÍSTICAS DE LOS ESTUDIOS

Se realizó una breve descripción en la Tabla IV de los aspectos más útiles para la elaboración de nuestro estudio.

TABLA IV. ARTÍCULOS INCLUIDOS EN EL TRABAJO: DATOS RELEVANTES

Base de datos	Autor / año	Diseño del estudio	Muestra	Resumen	Resultados
PubMed	Stan Benjames 2018	Retrospectivo Bicéntrico	337 pacientes con trasplante renal y gammagrafía renal entre 2000 y 214	Valorará gammagrafía renal analizada cuantitativamente trasplante	La graduación cualitativa RS y los índices cualitativos de RS cTER y <i>Average upslope</i> predicen una duración de DFG superior a 7 días con una alta sensibilidad
PubMed	Stan Benjames 2019	Estudio cohorte retrospectiva bicéntrica	Pacientes trasplantados renales en el Centro Médico de la Universidad de Leiden, 2011-2014	Se estudia la capacidad predictiva de una gammagrafía única y la gammagrafía realizada consecutivamente.	La gammagrafía renal única realizada 7 días posteriores al trasplante permite tomar una decisión confiable y guiada sobre la necesidad de diálisis y para predecir la LOS. No se incluye valor adicional con la gammagrafía renal consecutiva.
PubMed	Eva V Dubovsky et al. 1999	Revisión sistemática	No hay muestra de estudio	Se llevó a cabo una revisión sistemática acerca de las técnicas permiten complicaciones médicas y quirúrgicas en el post-trasplante renal temprano y en el seguimiento a largo plazo.	Con el Tc99m-DTPA o con MAG3 se permite un estudio del flujo. Sedeben incluir imágenes y curvas de tiempo/actividad
DIALNET	Violeta Pedragosa et al. 2021	Revisión bibliográfica	No hay muestra de estudio	Se realiza una revisión bibliográfica sobre el trasplante renal.	El trasplante renal es una técnica que conlleva una serie de riesgos para el paciente. Sin embargo, el beneficio en caso de que todo salga correctamente es mayor que los riesgos.
DIALNET	Richard Baquero Rodríguez, et al. 2016	Estudio de correlación, descriptivo y retrospectivo	18 pacientes trasplantados renales con diagnóstico de disfunción del injerto entre 2009-2013	Se llevó a cabo este estudio para determinar la función de las gammagrafías renales de cara a poder determinar un pronóstico a largo plazo del injerto comparándola con la biopsia.	Se obtuvieron resultados pobres en cuanto a la utilidad de la gammagrafía renal para determinar rechazo agudo o necrosis tubular aguda en el paciente trasplantado.
DIALNET	María Laura Berges Herranz, 2023	Revisión bibliográfica	No hay muestra en este estudio	En este estudio se recopila información acerca renograma isotópico en pacientes trasplantados.	Tras realizar el trasplante renal, es necesario realizar un renograma isotópico para comprobar la evolución del mismo.
DIALNET	Laura Alegret, 2023	Revisión bibliográfica	No hay muestra en este estudio	Se realiza una revisión bibliográfica sobre los cuidados de enfermería en el renograma diurético	Los cuidados de enfermería en el renograma diurético desempeñan un papel fundamental en el éxito y la seguridad de la prueba.
ELSEVIER	Miguel Ángel Calderón Santiesteban y José Luis Navarro Fernández, 2023	Estudio Observacional retrospectivo y revisión bibliográfica.	97 pacientes trasplantados renales en el HCUVA	Con este estudio se valora la sensibilidad y el valor pronóstico de la gammagrafía en comparación EcoDoppler en pacientes trasplantados renales.	La gammagrafía constituye una herramienta fundamental en el diagnóstico precoz del RFI con una alta sensibilidad.

TABLA IV (CONT.). ARTÍCULOS INCLUIDOS EN EL TRABAJO: DATOS RELEVANTES

ELSEVIER	JM Jiménez Hoyuela y AC Rebollo Aguirre 2000	Revisión bibliográfica	No hay muestra en este estudio	Se realiza una revisión bibliográfica sobre los distintos procedimientos utilizados en Medicina Nuclear para la valoración del riñón	No hay resultados
ELSEVIER	Mt Bajén, et al. 2001	Estudio transversal descriptivo	221 renogramas en pacientes trasplantados	Se evalúa la utilidad de los parámetros conseguidos a partir del renograma con Tc-99m MAG3 en el injerto renal	El TMM y el T20 fueron significativamente mas largos y la CI significativamente menor en los injertos no funcionantes
SCIELO	Alejandro Pérez et al. 1995	Estudio observacional transversal	20 historias clínicas de pacientes trasplantados renales	Se realizó elementos significativos de estos pacientes y las acciones	En pacientes trasplantados es necesaria su atención en una unidad de UCI por personal de enfermería cualificado y entrenado
SCIELO	JF Barba et al. 2011	Estudio observacional retrospectivo	413 trasplantes renales realizados entre 1994-2008	Se llevó a cabo este estudio injerto renal	Las alteraciones en ola fase vascular y en la fase parenquimatosa se relacionan de manera directa con la supervivencia del injerto

ANÁLISIS Y REVISIÓN DE LA INFORMACIÓN CONTENIDA EN LOS ARTÍCULOS

Tras realizar una revisión de los artículos seleccionados, así como de sus características, resultados y análisis de la información contenida en ellos, se englobarán principalmente en 3 categorías, de manera que se pueda responder a los objetivos previamente mencionados en el apartado 2:

- Valoración de las gammagrafías renales en pacientes con trasplante renal.
- Implicación del personal de enfermería en la realización de la gammagrafía renal.
- Indicaciones en la realización de una gammagrafía renal en el trasplante renal.

VALORACIÓN DE LAS GAMMAGRAFÍAS RENALES EN PACIENTES CON TRASPLANTE RENAL

En los artículos encontrados, el abordaje de la gammagrafía renal en el paciente trasplantado se realiza, en su mayoría, con el trazador MAG 3 al presentar una mejor calidad de imagen tras la prueba, antes que el DTPA. El objetivo de estos artículos consiste en verificar si las gammagrafías son de utilidad para detectar de manera precoz ciertas patologías que pueden presentarse tras una intervención de trasplante renal, como pueden ser la necrosis tubular aguda (NTA) o un posible rechazo del injerto (agudo, crónico o hiperagudo).

Se localizaron 6 artículos que estudiaban los efectos de la gammagrafía renal en el paciente trasplantado, diferenciando aquellos estudios (3 artículos) que valoraban los datos aportados

por la gammagrafía para valorar la presencia de patologías en el injerto o aquellos estudios (3 artículos) centrados en comparar la eficacia de las gammagrafías con otras técnicas.

Comenzando por los artículos que realizaban una investigación sobre los valores obtenidos en una gammagrafía renal y su veracidad para confirmar la presencia de una patología en el injerto renal encontramos los siguientes artículos:

En el artículo publicado por Stan Benjamens ⁽⁵⁾, se realiza una valoración de la gammagrafía renal con Tc99m -MAG3 para determinar el DGF, el retraso en la función del injerto (podemos orientarlo en base al número de días que el paciente necesitará diálisis en los primeros 7 días tras la intervención o la concentración de creatinina sérica que nos disminuiría en 10% en 3 días consecutivos). Se realizó una valoración cualitativa de la gammagrafía renal por medio de la escala de Heaf e Iversen para medir las curvas de tiempo-actividad, con 4 grados distintos en función de las curvas de absorción y excreción, siendo el grado 1 como curva normal hasta el grado 4 que se considera absorción absoluta sin fase de excreción. Y una valoración cuantitativa por medio de los índices cuantitativos cTER y Average upslope que predicen una duración de la función diferida del injerto superior a 7 días con una elevada sensibilidad, pero no permite descartar si el paciente presentará una duración de la función diferida por encima de 7 días, llegando a no poder predecir si ese retraso en la función se debe a una necrosis tubular o a un rechazo del injerto. En este caso, a mayor grado en la escala de Heaf e Iversen, mayor era el DGF, tomando como punto de corte el grado 2, para descartar o afirmar la presencia de DGF en el paciente. En cambio, en los índices cuantitativos, se determinó la presencia de DGF en el paciente a menor valor obtenido en cTER y Average Upslope.

En el artículo publicado por M. T. Bajén ⁽¹⁰⁾ se realizó una investigación para valorar la eficacia de los parámetros estudiados en una gammagrafía renal con Tc99m -MAG3 para determinar la afectación de la función renal en el injerto. Se determinaron mediante los índices cuantitativos TTM (tiempo de tránsito medio), T20 (tiempo de caída del 20%) y CI (captación inicial) su capacidad para determinar si la función del injerto se encontraba alterada. En el caso de TTM y T20 mostraban un valor más largo al presenciar una alteración de la función del injerto y CI mostraba un valor significativamente menor con la alteración en la función.

En el artículo publicado por J. F. Barba ⁽¹²⁾ se realizó una investigación acerca de los hallazgos de la gammagrafía inmediata en las primeras 24h con Tc99m -DTPA y su influencia en la supervivencia del injerto. Se determinó como vascularización alterada el no presentar en las curvas de flujo una pendiente ascendente paralela a la arteria aorta, seguido a ello, también

se determinó la fase parenquimatosa como alterada cuando la captación del radiofármaco no presentó una curva ascendente diferenciada de la fase vascular. Se consideró, además, una fase excretora alterada al presentar curvas alargadas características de una obstrucción de la vía excretora, por presencia de colecciones o fugas extrarrenales.

Como resultado, se obtuvo que el injerto tenía una menor tasa de supervivencia al presentar alteraciones en la fase vascular (OR: 3; IC 95%: 1,9- 4,9; $p < 0,001$), alteraciones en la fase parenquimatosa (OR: 2,21; IC 95%: 1,3-3,36; $p = 0,001$) y alteraciones en la fase excretora (OR: 2,5; IC 95%: 1,5-4; $p < 0,001$).

Dando paso a los artículos cuya investigación se centra en comparar la gammagrafía renal con otras técnicas encontramos los siguientes artículos:

En el artículo publicado por Richard Baquero Rodríguez ⁽²⁾, se realizó una correlación entre la gammagrafía renal Tc99m -DTPA y la biopsia tisular. En este artículo se halló una baja sensibilidad (42%, IC 0-86) en la gammagrafía y una baja especificidad (45%, IC 20-88) a diferencia de la biopsia tisular.

En el artículo publicado por Stan Benjamins, Robert A. Pol y Stefan. P. Berger ⁽⁶⁾ se determinó si el realizar dos gammagrafías consecutivas, en lugar de una, ayudaría a obtener resultados más concretos sobre el diagnóstico de un paciente. Se realizaron unos análisis cualitativos como la pendiente de la función tubular (TFS), MUC10, la velocidad de extracción tubular corregida (cTER) y la pendiente ascendente promedia. Además, se utilizó las curvas de Kaplan-Meier para determinar la duración de la DGF y la graduación cualitativa de la primera y la segunda gammagrafía.

Siguiendo con los artículos comparando distintas técnicas con la gammagrafía, tenemos el artículo publicado por Miguel Ángel Calderón Santisteban y Jose Luis Navarro Fernández ⁽⁸⁾, se llevó a cabo un estudio para determinar la eficacia de la gammagrafía renal. Como resultados se obtuvieron que la gammagrafía renal presentaba una sensibilidad del 100% y una especificidad del 34%, en cambio, la Eco-Doppler presenta una sensibilidad del 2% y una especificidad del 94%.

IMPLICACIÓN DEL PERSONAL DE ENFERMERÍA EN LA GAMMAGRAFÍA RENAL:

Uno de los factores que garantiza la obtención de unos resultados precisos y seguridad en el paciente consiste en la atención especializada de parte del equipo de enfermería, gracias a una serie de cuidados específicos.

Entre las actuaciones de enfermería, diferenciamos distintos grupos de actividades, según el artículo publicado por Laura Roy Guerrero, M^a Ángeles Magadan, María Puyal Alegret, entre otros ⁽⁴⁾:

Preparación del paciente: dentro de este apartado se engloban aspectos relacionados a la preparación previa a la intervención, indicaciones que el paciente debe seguir y la preparación del paciente una vez se encuentre dentro de la sala para iniciar la prueba. Empezando por la preparación pre-intervención, como personal de enfermería, debemos comentar al paciente los siguientes puntos:

- Anamnesis previa del paciente (antecedentes quirúrgicos, enfermedades, medicación, alergias o si se da el caso de embarazo)
- En caso de mujer en edad fértil, se debe firmar un documento de no embarazo (se incluirá en la ficha del paciente)
- Hidratación previa de unos 300-500 mL, preferiblemente agua, nada de líquidos alcohólicos.
- Explicar el procedimiento, así como en qué consiste la prueba y su duración (40 min o 1 hora)
- Debemos indicar al paciente la importancia de estar quieto durante la prueba para que las imágenes sean idóneas y no salgan artefactadas
- Se procederá a la anotación de la hidratación del paciente
- Se canalizará una vía en el paciente y su posterior comprobación de la permeabilidad
- Indicaremos al paciente que debe orinar unos minutos antes de iniciar la prueba para vaciar la vejiga.
- Una vez se realizan todos estos puntos para la preparación previa, se guiará al paciente a la sala donde se llevará a cabo la prueba, para continuar con las preparaciones en dicha sala.
- El paciente debe colocarse en la camilla en posición decúbito supino, ayudaremos al paciente para colocarse de manera adecuada.
- El brazo que lleve colocada la vía deberá estar extendido hacia fuera (perpendicular a la camilla) apoyado en una mesa, fuera de la visión de la gammacámara.
- Monitorizaremos al paciente (tensión arterial, saturación de oxígeno, electrodos para conseguir una monitorización cardíaca).
- Se conectará la vía a un suero de 250mL para mantener la hidratación del paciente durante la prueba.

- A continuación, administramos el radiofármaco por la vía del paciente en bolo, 3-4 mCi.
- Se le recuerda al paciente la importancia de permanecer quieto durante la realización de la prueba.

Contraindicaciones: el radiofármaco está contraindicado en caso de embarazo. Se podría valorar la posible administración del radiofármaco en caso de embarazo, barajando la relación riesgos-beneficios.

Monitorización y apoyo durante el procedimiento: tras iniciar la prueba, debe encargarse el personal de enfermería de controlar las contantes y la monitorización del paciente en todo momento, además de ayudar si el paciente presenta alguna necesidad durante la prueba. Se debe estar atento a posibles complicaciones adversas. Tras 20 minutos de la prueba, el enfermero administrará un diurético (furosemida) prescrito por el facultativo, administrado por vía intravenosa en bolo. Es posible que, al finalizar la prueba, el facultativo quiera tomar nuevas imágenes, esta vez estáticas y post-micciones. Para ello, el personal de enfermería retirará el suero que se conectó al paciente y se le indicará que debe orinar para poder vaciar la vejiga de nuevo antes de tomar las imágenes.

Para finalizar, el personal de enfermería deberá anotar los tiempos de administración del radiofármaco y del diurético, junto a cualquier síntoma o reacción adversa que haya presentado el paciente durante la prueba.

Durante el desarrollo de la prueba, es clave la atención de un equipo multidisciplinar.

Cuidados post-procedimiento: una vez finalizada la prueba, dictaminado por el médico, el equipo de enfermería indicará al paciente los cuidados post-quirúrgicos que debe seguir:

- Una ingesta de líquidos un poco más abundante de lo habitual, con el objetivo de eliminar el radiofármaco.
- No deberá permanecer cerca de embarazadas o niños pequeños en lo que queda de día.

Nos aseguraremos de que el paciente entiende los cuidados posteriores. En cuanto a los resultados de la prueba, se informará de cuándo y cómo se le comunicarán los resultados de la gammagrafía renal.

Una vez aclaradas las dudas sobre los cuidados posteriores, se despedirá al paciente.

INDICACIONES DE UNA GAMMAGRAFÍA RENAL PARA EL TRASPLANTE RENAL

En el artículo postulado por J. M. Jiménez-Hoyuela García y A. C. Rebollo Aguirre ⁽⁹⁾ se determinaron varias técnicas que permiten un abordaje de las vías urinarias para la valoración de patologías o procedimientos quirúrgicos, como es el caso del renograma para el trasplante renal.

En este artículo quedan reflejadas las distintas aplicaciones de un renograma en caso de realizarse para un paciente con trasplante renal, entre las que encontramos las siguientes:

1. Monitorización de la recuperación del injerto a nivel post-operatorio.
2. Valoración de la respuesta al tratamiento en crisis de rechazo o nefrotoxicidad.
3. Permite la detección precoz de posibles complicaciones en un trasplante renal.
4. Se consigue una valoración de la perfusión de ambos injertos del trasplante renal.
5. Permite un estudio de la evolución de la nefropatía crónica del injerto

DISCUSIÓN

Podemos determinar que la gammagrafía renal es una técnica utilizada ampliamente en el campo de la salud para poder realizar un seguimiento en el paciente trasplantado.

Varios autores determinan en sus artículos la eficacia de las gammagrafías para conseguir unos valores gammagráficos lo suficientemente precisos como para establecer un pronóstico para el paciente o establecer un diagnóstico en cuanto a la presencia de una disfunción del injerto en el paciente trasplantado. Tal es el caso de los artículos publicados por Stan Benjamens y colaboradores ^(5, 6); Miguel Ángel Calderón y Jose Luis Navarro ⁽⁸⁾; M. T. Bajén y colaboradores ⁽¹⁰⁾; J. F. Barba y colaboradores ⁽¹²⁾. Los autores de estos artículos sostienen que, entre otros parámetros, la gammagrafía presenta una elevada sensibilidad (los valores varían de 76%-100% en función del estudio). Sin embargo, en el estudio publicado por Stan Benjamens y colaboradores ⁽⁵⁾, pone de manifiesto que, si bien la gammagrafía renal puede determinar la duración de un DGF de siete o más días en el injerto, no es capaz de descartar si ese retraso en la función del injerto está determinado por una necrosis tubular o por un rechazo. En otros artículos, los autores manifiestan que los parámetros que puede proporcionar una gammagrafía nos ayudan a determinar de manera precisa cuando el injerto evoluciona de manera óptima o si, al contrario, presenta alguna patología.

Aunque el artículo publicado por Richard Baquero Rodríguez ⁽²⁾ pone de manifiesto la baja sensibilidad que obtuvo en sus resultados con la gammagrafía renal, lo que dista estar muy dispar a la literatura presente hasta el momento. Achacan estos resultados al radioisótopo utilizado, puesto que en la mayoría de los artículos encontrados utilizan el Tc99m -MAG3 por obtener mejores resultados en calidad de imagen, pero para este artículo seleccionaron el radioisótopo Tc99m

-DTPA. Otro de los factores que pueden ser determinantes en estos resultados se debe al tiempo empleado para realizar las técnicas, entre la realización de la gammagrafía renal y la

biopsia (con el objetivo de comparar ambas técnicas) fue de 20 días, cuando en otros artículos se realiza no más de 24h de diferencia.

En otro artículo publicado por Stan Benjamins y colaboradores ⁽⁶⁾, se pone de manifiesto la utilidad de la información presentada por la gammagrafía para determinar un pronóstico para el paciente como puede ser el DGF, pero la realización de dos gammagrafías consecutivas no aporta información añadida que con una sola no se puede determinar, por lo que no es concluyente la realización de dos procedimientos de gammagrafía renal consecutivos.

CONCLUSIONES

Entre las consideraciones para poder realizar este trabajo se encontraban determinar la eficacia de las gammagrafías renales en pacientes trasplantados renales, protocolo de realización de una gammagrafía renal e importancia del papel de enfermería en el mismo.

- Tras la búsqueda bibliográfica y los resultados presentados tanto en el apartado de resultados como en el apartado de discusión, se pone de manifiesto la precisión con que la gammagrafía detecta la presencia de un DGF en el injerto del paciente, pudiendo determinar la duración hospitalaria del paciente o la necesidad de diálisis, además de poder establecer un tratamiento adecuado para la correcta recuperación del paciente en el caso de patologías como el rechazo o la necrosis tubular aguda.
- Se determinó que la colaboración multidisciplinar con el equipo de enfermería presenta unos mejores resultados en la prueba y una correcta realización de esta, al ejercer un papel clave en la preparación del paciente y en el momento de la prueba. Además de realizar un seguimiento al paciente a lo largo de toda la prueba, la postura del paciente, valoración de la vía, administración del radioisótopo, entre otras consideraciones.
- Se ha concluido, además, que la información presentada por una gammagrafía renal para el paciente con trasplante renal ayuda en la valoración de la perfusión del injerto, su evolución y diagnóstico precoz ante la presencia de patologías y la valoración frente a la respuesta de un tratamiento.
- Para finalizar, el artículo publicado por Laura Roy Guerrero y colaboradores ⁽⁴⁾ pone de manifiesto el protocolo a seguir en la gammagrafía renal, aunque desde el punto de vista del ámbito enfermero.

Hay pocos estudios que describan como realizar una gammagrafía renal de manera óptima, la mayoría de estos se centran en los valores conseguidos de esta técnica, pero sin mencionar la duración de la prueba, momento de administración del radioisótopo, indicaciones que siguieron los pacientes en cuanto a hidratación, toma de imágenes, etc. De cara a futuros

estudios, podrían plantearse estudios experimentales dedicados a la realización de las gammagrafías renales en el momento, determinar los parámetros a abordar, indicar momento de administración del radiofármaco, disolución empleada, período de tiempo de desarrollo de la prueba o imágenes que ayuden a visualizar de manera más clara y tangible las diferencias observadas entre los pacientes con una gammagrafía renal adecuada y aquellos que presenten complicaciones.

BIBLIOGRAFÍA

1. Pedragosa González V, Sánchez Barrón G, Elu Escalante M, Pérez Caamaño N, Berrocal Elu A, Candala Ramírez D. El trasplante renal, revisión bibliográfica [Internet]. Rev Sanitaria Investig. 2021 [citado el 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/el-trasplante-renal-revision-bibliografica/>
2. Baquero Rodríguez R, Gutiérrez Tamayo AM, Londoño Blair JL, Cornejo Ochoa JW, Arias Restrepo LF, Vanegas Ruiz JJ, et al. Correlación entre renograma estándar e histología para diagnóstico etiológico de disfunción del injerto en pacientes trasplantados renales en el Hospital San Vicente Fundación en Medellín, Colombia, periodo enero/2009-diciembre/2013: serie de casos. Rev Colomb Nefrol. 2016;3(2):80–88. <https://doi.org/10.22265/acnef.3.2.216>
3. Gómez Rodríguez MP, Calvo Sandino M, Berges Herranz L. Trasplante renal: renograma isotópico en paciente trasplantado [Internet]. Rev Sanitaria Investig. 2023 [citado el 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/trasplante-renal-renograma-isotopico-en-paciente-trasplantado/>
4. Roy Guerrero L, Magadan Marcos MÁ, Puyal Alegret M, Fuertes Lahoz E, Fernández Marco MÁ, Reyes Ripoll Córdoba J. Cuidados de enfermería en el renograma diurético: optimizando la atención al paciente en la unidad de medicina nuclear [Internet]. Rev Sanitaria Investig. 2023 [citado el 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://revistasanitariadeinvestigacion.com/cuidados-de-enfermeria-en-el-renograma-diuretico-optimizando-la-atencion-al-paciente-en-la-unidad-de-medicina-nuclear/>
5. Benjamins S, Pol RA, Glaudemans AWJM, Berger SP, Dierckx RAJO, Slart RHJA. Can transplant renal scintigraphy predict the duration of delayed graft function? PLoS One. 2018;13(3):e0193793. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0193793>
6. Benjamins S, Pol RA, de Geus-Oei LF, de Vries APJ, Glaudemans AWJM, Berger SP, et al. Limited clinical value of two consecutive post-transplant renal scintigraphy procedures to predict delayed graft function duration and length of hospital stay. Eur Radiol. 2020;30(3):1601-1609. <https://doi.org/10.1007/s00330-019-06334-1>

7. Dubovsky EV, Russell CD, Bischof-Delaloye A, Bubeck B, Chaiwatanarat T, Hilson AJW, et al. Report of the radionuclides in nephrourology committee for evaluation of transplanted kidney (review of techniques). *Semin Nucl Med.* 1999;29(2):175–88. [https://doi.org/10.1016/s0001-2998\(99\)80007-5](https://doi.org/10.1016/s0001-2998(99)80007-5)
8. Calderón Santisteban MÁ, Navarro Fernández JL. Valor de la gammagrafía con MAG3-99mTc en trasplantados renales: comparativa con el seguimiento con eco-Doppler. [Internet]. *Webs.um.es.* [citado el 16 de abril de 2024]. Disponible en: https://webs.um.es/mab/miwiki/lib/exe/fetch.php?media=18_valor_de_la_gammagrafia_con_mag3-99mtc_en_trasplantados_renale_comparativa_con_el_seguimiento_con_eco-doppler.pdf
9. Jiménez-Hoyuela García JM, Rebollo Aguirre AC. Técnicas de Medicina Nuclear para la exploración del riñón y vías urinarias. *Med Integr.* 2000;35(1):29–37. [citado el 16 de abril de 2024] Disponible en: <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-tecnicas-medicina-nuclear-exploracion-del-15351>
10. Bajén MT, Mora J, Grinyo JM, Castelao A, Roca M, Puchal R, et al. Estudio de la evolución del trasplante renal mediante la deconvolución del renograma con 99mTc-mercapto-acetil-triglicina (Mag-3). *Rev Esp Med Nucl.* 2001;20(6):453–61. [https://doi.org/10.1016/s0212-6982\(01\)71992-1](https://doi.org/10.1016/s0212-6982(01)71992-1)
11. Pérez Ley A, Morales Sangil I, Díaz Hernández A. Atención de enfermería a los pacientes con trasplante renal en el posoperatorio inmediato. *Rev Cubana Enferm.* 1995;11(2):7–8. [citado el 16 de abril de 2024]; Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0864-03191995000200004
12. Barba JF, Romero L, Tolosa E, Algarra R, Rosell D, Robles JE, et al. Estudio de los hallazgos de la gammagrafía renal inmediata y su influencia en la supervivencia del injerto renal. *Actas Urol Esp.* 2011;35(4):218–24. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2010.10.008>
13. Onodera EI, González YI, de Rodríguez JAB, Moreno LA. Evaluación imagenológica de las complicaciones del trasplante renal. Experiencia en el c.h.m. dr. A. A. M. Desde enero de 2001 a septiembre de 2002 [Internet]. *Rev Med Panama* 2004;29:34-40 [citado el 10 de mayo de 2024]. Disponible en: https://web.archive.org/web/20180411054547id/http://access.revistasmedicas.org/pdf/pdf/PJ_RMDP_2004_029_001-6.pdf
14. Novillo TAA. La gammagrafía como técnica de diagnóstico en medicina nuclear [Internet]. 2006 [citado el 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/1281>
15. Albarellos Montero R, Fundora Sarraff TA, Hernández Reyes LH. Intervención de las enfermeras en las gammagrafías renales [Internet]. *Medigraphic.com.* 2021 [citado el 10 de mayo de 2024]. Disponible en: <https://www.medigraphic.com/pdfs/revcubheminmhem/rch-2021/rch214q.pdf>

CONTRIBUCIÓN DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA MULTIPARAMÉTRICA INTERPRETADA SEGÚN PI-RADS V2.1 A LA PRECISIÓN DIAGNÓSTICA A TRAVÉS DE LA BIOPSIA FUSIÓN RM/ECO EN EL CÁNCER DE PRÓSTATA.

Alonso Moreno Iglesias, Dra. Carmen Martín Hervás¹.

¹Servicio de Radiodiagnóstico. Hospital Universitario La Paz; Departamento de Medicina. Universidad Autónoma de Madrid.

alonso.morenoi@estudiante.uam.es; carmen.hervas@uam.es.

RESUMEN

La resonancia magnética multiparamétrica (RMmp) es una herramienta clave en la detección del cáncer de próstata clínicamente significativo (CPcs). Este estudio retrospectivo analiza la experiencia del programa de biopsia por fusión RM/ECO del Hospital Universitario La Paz, evaluando la precisión diagnóstica del sistema PI-RADS V2.1.

Se incluyeron pacientes sometidos a biopsia por fusión RM/ECO entre febrero y diciembre de 2024. Se analizaron el rendimiento diagnóstico de la RMmp, la calidad de las imágenes y la correlación entre la distribución topográfica de las lesiones y los hallazgos histopatológicos.

Los resultados muestran que PI-RADS 4-5 mantiene una alta sensibilidad para el CPcs, mientras que PI-RADS 3 presenta limitaciones diagnósticas. Asimismo, la biopsia fusión RM/ECO que combine cilindros por biopsia dirigida y sistemáticas optimiza la detección de CPcs. Persisten desafíos en la interpretación de imágenes, especialmente en la zona de transición. Estos hallazgos refuerzan el papel de la RMmp en la estratificación del riesgo y la toma de decisiones clínicas.

Abreviaturas: Resonancia Magnética multiparamétrica (RMmp), Cáncer de Próstata (CP), Cáncer de Próstata clínicamente significativo (CPcs), Antígeno Prostático Específico (PSA), Sociedad Internacional de Patología Urológica (ISUP), Prostate Imaging Reporting and Data System (PI-RADS), Sociedad Europea de Radiología Urogenital (ESUR), Hospital Universitario La Paz (HULP), Prostate MR Imaging Study (PROMIS), Valor Predictivo Positivo (VPP), Valor Predictivo Negativo (VPN), Difusión por Imágenes (DWI), Coeficiente de Difusión Aparente (ADC), Resonancia Magnética Dinámica con Contraste (DCE-MRI), Campo de Visión (FOV), Sistema Informático de Información Hospitalaria (HCIS), Extensión Extraprostatica (EEP), Zona de Transición (TZ), Zona Periférica (PZ), Vigilancia Activa (VA).

INTRODUCCIÓN

El uso de la resonancia magnética multiparamétrica (RMmp) en la detección del cáncer de próstata (CP) ha aumentado considerablemente en los últimos años debido a su valor tanto diagnóstico como pronóstico. Actualmente, las guías europeas recomiendan realizar una RMmp antes de la biopsia en todos los pacientes con sospecha de CP sin extensión

extraprostática, dada su excelente capacidad predictiva¹. La implementación de esta técnica de imagen ha impulsado el uso de biopsias guiadas por resonancia magnética, en particular la técnica estereotáctica de biopsia por fusión de resonancia magnética/ecografía (RM/ECO) que combina, mediante superposición en tiempo real, las imágenes adquiridas previamente por RMmp con la ecografía transrectal en el momento de la biopsia².

El CP es la neoplasia maligna más frecuente del varón ³ y se clasifica en dos formas principales: el cáncer clínicamente significativo (CPcs), asociado a morbilidad debido a sintomatología local, extensión metastásica o incluso muerte, y el cáncer clínicamente insignificante o indolente, cuya manifestación clínica y progresión son altamente improbables. El antígeno prostático específico (PSA) es un biomarcador clave en la sospecha clínica de CP aunque no es específico de la enfermedad. Su valor absoluto, junto con parámetros como la cinética de PSA, ayuda a estratificar el riesgo y determinar la indicación de la RMmp¹. Todo ello va dirigido a estratificar el riesgo de CPcs, permitiendo una mejor selección de.

Aunque no existe un consenso claro sobre los criterios para determinar la significación clínica del CP, las características histopatológicas se han establecido como el principal indicador. En este contexto, el resultado de las biopsias es determinante para el manejo clínico. La Sociedad Internacional de Patología Urológica (ISUP), asigna una puntuación del 1-5 de acuerdo con su agresividad y el riesgo de extensión. Se acepta que el CPcs corresponde a tumores con un grado ISUP >1 (equivalente a un puntaje de Gleason > 3 + 4)¹.

La introducción de la RMmp ha supuesto un avance a la detección precoz del CPcs y en 2012, la Sociedad Europea de Radiología Urogenital (ESUR) desarrolló el sistema *Prostate Imaging and Reporting Archiving Data System* (PI-RADS) con el objetivo de estandarizar el protocolo y la interpretación de las imágenes de RMmp . Actualmente, en su versión 2.1(V2.1) de 2019, esta sistemática ofrece un algoritmo diagnóstico que asigna a cada lesión una puntuación del 1 al 5, en relación creciente con la probabilidad de CPcs en los estudios de RMmp ⁴. De acuerdo con este sistema, se considera indicación de biopsia una lesión con puntuación PI-RADS ≥ 3 . Sin embargo, la RMmp presenta limitaciones como la variabilidad interobservador o el riesgo de sobrediagnóstico en lesiones de riesgo intermedio PI-RADS 3⁵. Por ello, se investiga activamente el desarrollo de biomarcadores y modelos predictivos para mejorar la precisión en la detección del CPcs y reducir falsos positivos, buscando optimizar así la toma de decisiones clínicas.

Respecto a la detección de CPcs en la RMmp, la literatura presenta valores de sensibilidad que oscilan entre el 58% y el 96%, valores predictivos negativos VPN entre el 63% y el 98%

y una especificidad del 36% al 56%, según el Prostate MRI Imaging Study (PROMIS)⁶. Un metaanálisis realizado por Niranjana J. Sathianathan. *et al.* describió un VPN de la RMmp en el rango del 63% al 100% para la exclusión de CPcs⁷. Asimismo, una revisión sistemática publicada en 2021 por Chau Hung Lee *et al.* analizó el rendimiento diagnóstico del sistema PI-RADS v2.1, con una sensibilidad del 90% (IC 95%: 0.87-0.92) y un VPN del 93% (IC 95%: 0.91-0.95). Sin embargo, la especificidad fue moderada (62%, IC 95%: 0.59-0.64), lo que sugiere una tasa relativamente elevada de falsos positivos⁸. Estos hallazgos son prometedores aunque sigue siendo necesario adaptar los parámetros diagnósticos a los protocolos y características poblacionales de cada centro.

La mayoría de los estudios disponibles se han basado en biopsias sistemáticas o en muestras de prostatectomía radical. La incorporación de biopsias dirigidas mediante técnicas de fusión representa una oportunidad para reevaluar la precisión diagnóstica de la RMmp, particularmente ante la escasez de estudios específicos en cohortes españolas. En este contexto, el presente proyecto evalúa el rendimiento diagnóstico de la RMmp en la detección del CPcs, dentro del marco de la experiencia del programa de biopsia por fusión RM/ECO del Hospital Universitario La Paz.

HIPÓTESIS Y OBJETIVOS

La RMmp, interpretada según los criterios del sistema PI-RADS v2.1, es un predictor válido para el manejo clínico del CPcs, definido según los hallazgos histopatológicos de las biopsias dirigidas por fusión RM/ECO.

El objetivo primario es evaluar el rendimiento diagnóstico del PI-RADS V2.1, en la detección de CPcs de acuerdo con las biopsias realizadas por fusión RM/ECO.

Los objetivos secundarios engloban valoraciones adicionales que contribuyen a plantear otras aproximaciones a la validez diagnóstica de la RMmp. Incluyen:

1. Realizar un análisis objetivo de la calidad de las RMmp y los informes radiológicos de acuerdo con el protocolo establecido en PI-RADS V2.1.
2. Comparar la distribución topográfica de las lesiones detectadas por RMmp con sus resultados obtenidos en la biopsia, como aproximación al correlato diagnóstico.
3. Comparar el VPP del PI-RADS V2.1 para la detección de CPcs y CP según los resultados de biopsia global frente a la puntuación aislada de los cilindros obtenidos mediante biopsias dirigidas y sistemáticas.
4. Identificar posibles factores de confusión mediante el análisis de variables clínicas (edad, PSA, densidad de PSA, volumen prostático, indicación de biopsia),

imagenológicas (calidad de la RMmp, tamaño de la lesión) y relacionadas con el procedimiento de biopsia (intervalo entre RMmp y biopsia, número total de cilindros, cilindros afectados y no representativos).

MATERIAL Y MÉTODOS

En este estudio retrospectivo se incluyeron aquellos pacientes de la lista de trabajo del programa de biopsias por fusión RM/ECO del Hospital Universitario La Paz (HULP) biopsiados entre el 23/02/24 y el 5/12/24 a quienes se les indicó biopsia por fusión RM/ECO ante el hallazgo de una o varias lesiones PI-RADS ≥ 3 . Dicha indicación queda sujeta a dos contextos clínicos: (1) vigilancia activa en CP de bajo riesgo (ISUP 1 confirmado en biopsia de reclasificación y PSA < 10 ng/mL) o (2) evaluación inicial ante sospecha de malignidad (elevación del PSA sin diagnóstico histológico previo). Por ende, los criterios de inclusión para cada paciente fueron los siguientes:

1. Pacientes incluidos en la agenda de biopsias del Servicio de Urología del HULP y sometidos a biopsia por fusión RM/ECO.
2. RMmp procesada con contorno de lesiones según el protocolo MIM Symphony Dx™.
3. Disponibilidad de un informe anatomopatológico realizado por un patólogo experto accesible a través del Sistema Informático de Información Hospitalaria (HCIS).

No se incluyeron pacientes sin RMmp previo a la biopsia ni aquellos donde se practicaron exclusivamente biopsias sistemáticas, sin un componente dirigido por RM/ECO. Además se consideran como criterios de exclusión:

1. Pacientes cuya RMmp fue calificada como de mala calidad, según los criterios descritos en la sección de Protocolo de imagen.
2. Pacientes con antecedentes de prostatectomía o radioterapia con intención curativa, en quienes la RMmp se realizó para evaluación de recurrencia.

PROTOCOLO DE IMAGEN

La RMmp se realizó con imán de 3.0T o 1.5T. El protocolo incluyó imágenes T2 multiplanares (axial, sagital, coronal), con un campo de visión (FOV) de 12–20 cm. La secuencia de difusión (DWI) se adquirió con valores b calculados de 1500 s/mm², y se generó el mapa de coeficiente de difusión aparente (ADC) con un FOV de 16–22 cm para minimizar artefactos y mejorar la caracterización tisular. La secuencia dinámica con contraste (DCE-MRI) consistió en adquisiciones basales de máscara previas a la administración de gadolinio,

seguidas de series rápidas post-contraste utilizando una secuencia de eco de gradiente (GRE) ponderada en T1 con supresión grasa, para evaluar la cinética de captación y lavado del contraste en los tejidos y así identificar alteraciones en la perfusión tisular, como la angiogénesis tumoral. Los hallazgos fueron recogidos en el informe de la RMmp por radiólogos especializados. Dicha interpretación de la RMmp fue realizada de forma independiente por un radiólogo experto, ajeno al estudio.

La calidad diagnóstica de la RMmp se clasificó en “mala”, “regular” o “buena” siguiendo criterios predefinidos y resumidos en la Figura 1. Se consideró “mala” cuando el radiólogo lo especificó explícitamente en HCIS o a través de la lista de trabajo para el contorno de lesiones. También se clasificó como “mala” en los casos en los que no se tuvo acceso al informe radiológico original, incluso habiéndose realizado el contorno y la biopsia por fusión RM/ECO.

Se clasificó como “regular” cuando existía discordancia entre el contorno y el informe original, el campo de visión (FOV) de las secuencias de difusión era demasiado amplio, el protocolo de RMmp se realizó en un equipo $3T$ o con un valor-b calculado <math><1400\text{ s/mm}^2</math>, el intervalo entre RMmp y biopsia superaba los seis meses, y/o en aquellos casos en los que el informe no incluía la anatomía segmentaria-sectorial de la próstata ni el tamaño de las lesiones.

Se calificó como “buena” toda RMmp que no cumpliera criterios de mala ni de regular. La justificación de estos criterios se basa en las recomendaciones de la guía ESUR PI-RADS v2.1⁴, que establecen parámetros técnicos mínimos aceptables para la adquisición e interpretación de imágenes.

PROTOCOLO DE BIOPSIA

El contorno se refiere a la segmentación de la próstata y las lesiones sospechosas que se realizó en el software MIM Symphony Dx Lite, utilizando la secuencia T2 axial como referencia principal, con apoyo de las secuencias DWI y ADC. Los contornos generados fueron exportados en formato DICOM y transferidos al sistema de fusión ecográfica bkFusion (bk3000/5000, BK Medical).

La biopsia transperineal se realizó según el protocolo de Ginsburg, combinando muestras dirigidas de las lesiones sospechosas y biopsias sistemáticas siguiendo la distribución clásica por cuadrantes prostáticos. El número de cilindros obtenidos se ajustó al volumen prostático determinado por RMmp y aparente en la ecografía en tiempo real².

La ecografía transrectal se realizó sobre un rotor fijo a la mesa quirúrgica de cara a mecanizar la colocación de la sonda y así aumentar la precisión y rango de movimiento de los planos ecográficos. Se adquirió una ecografía 3D mediante un barrido desde la base hasta el ápex prostático, y las coordenadas de las lesiones identificadas en RMmp se superpusieron a la imagen ecográfica para guiar la toma de biopsias.

Durante la fase de punción, la aguja se insertó a través del periné utilizando una rejilla cuadrículada fija al rotor mecánico. Se empleó a modo de plantilla que permitió seguir las coordenadas predefinidas en el sistema. La biopsia se realizó bajo seguimiento ecográfico, permitiendo corregir desviaciones de la aguja y ajustar dinámicamente la posición en caso de movimiento prostático. Se obtuvieron entre 12 y 24 muestras, dependiendo del tamaño de la glándula.

El abordaje transperineal permitió minimizar el riesgo de infecciones, mejorar la estabilidad de la aguja y optimizar la precisión en la obtención de muestras, especialmente en tumores localizados en la cara anterior de la próstata. Tras la toma de muestras, los cilindros fueron fijados en formol al 10 % y enviados a Anatomía Patológica para su análisis histopatológicos, donde se asignó la puntuación de Gleason e ISUP por patólogos expertos de nuestra institución. Cabe destacar que el informe asigna un diagnóstico y puntuación global (que considera los cilindros de biopsia guiada y los de biopsia sistemática) aunque también se individualiza el diagnóstico según las muestras correspondientes a biopsias sistemáticas sectoriales y las muestras de biopsias dirigidas.

RECOPIACIÓN Y ANÁLISIS DE DATOS.

Los datos fueron recogidos en una hoja de cálculo Excel garantizando la anonimidad en cumplimiento de la Ley Orgánica 3/2018, de 5 de diciembre, de Protección de Datos Personales y garantía de los derechos digitales. Para el objetivo principal de estudiar la validez del PI-RADS V2.1 se calcularon los valores de sensibilidad, especificidad, VPN y valor predictivo positivo (VPP) para el diagnóstico de CP y CPcs según los resultados de la biopsia correspondiente. En múltiples tablas de contingencia 2x2 se estratificaron y agruparon los datos para calcular dichos valores para los casos de PI-RADS 3, PI-RADS 4 y PI-RADS 5 así como PI-RADS ≥ 3 , PI-RADS >3 . La unidad de estudio de estos cálculos fue cada lesión en RMmp.

Dado que los resultados aún son preliminares (corte de datos y procesamiento: febrero de 2025), el último de los objetivos secundarios está pendiente de completarse. En el análisis definitivo, se aplicará un modelo de regresión logística para evaluar el impacto de posibles

variables confusoras en la eficiencia diagnóstica de la RMmp. Asimismo, se emplearán test estadísticos adicionales dirigidos a determinar la significación estadística de los datos obtenidos hasta el momento. Se considerarán como estadísticamente significativos valores de $p < 0.05$.

RESULTADOS

Se recogieron datos de 79 pacientes, de los cuales cinco fueron excluidos debido a cumplir criterios de mala calidad según criterios de exclusión previamente establecidos. La cohorte final estuvo conformada por 74 pacientes, con un total de 86 lesiones, lo que refleja la naturaleza multifocal del adenocarcinoma de próstata.

Las características basales se presentan en la Tabla 1. Las variables cuantitativas se expresan como media \pm intervalo de confianza del 95% (95% CI), mientras que las variables categóricas se presentan como número absoluto (N) y porcentaje (%). La edad media fue de 69 ± 1.9 años, y el PSA medio previo a la biopsia fue de 8.02 ± 0.83 ng/mL, con una densidad de PSA de 0.16 ± 0.02 ng/mL/cm³. El volumen prostático medio fue de 61.86 ± 6.7 cm³. La indicación para la biopsia fue diagnóstica en 33 (45%) casos, mientras que 41 (55%) pacientes estaban en vigilancia activa. La RMmp se realizó en un centro externo en 35 (45%) casos y en el HULP en 42 (55%). En cuanto a la calidad de las imágenes, 40 (52%) fueron calificadas como buenas, 34 (41%) como regulares y 5 (7%) como malas. El tamaño medio de la lesión fue de 13.15 ± 1.08 mm. Se identificó extensión extraprostática (EEP) en 8 (11%) casos, fue dudosa en 11 (15%) y estuvo ausente en 54 (74%). El intervalo medio entre la RMmp y la biopsia fue de 4 ± 1.04 meses. La biopsia dirigida por fusión obtuvo un promedio de 17 ± 0.6 cilindros por paciente, con una media de 4 ± 0.7 cilindros afectados y 1 ± 0.5 cilindros no representativos.

La Figura 2 muestra la distribución de las lesiones según la puntuación PI-RADS v2.1 en la RMmp, con 19 (22%) clasificadas como PI-RADS 3, 41 (48%) como PI-RADS 4 y 25 (30%) como PI-RADS 5. Representa gráficamente los valores de sensibilidad, especificidad, VPP y VPN para cada categoría de PI-RADS v2.1 (3, 4 y 5) en la detección de CPcs mediante biopsia guiada por fusión RM/ECO, permitiendo así comparar el rendimiento diagnóstico de cada puntuación.

La Figura 3 muestra un mapa de calor que compara la distribución topográfica de las lesiones detectadas mediante RMmp con los hallazgos de las biopsias correspondientes a CPcs. En el mapa, se observa un gradiente de colores que va desde el verde (menor afectación relativa) hasta el rojo (mayor afectación relativa), indicando la frecuencia de lesiones en cada sector

según ambas técnicas. Visualmente, se aprecian áreas con coincidencias y discrepancias en la localización de las lesiones entre la RMmp y la biopsia, lo que sugiere variaciones en la detección y correlación topográfica entre ambos métodos. Estos hallazgos preliminares serán analizados con mayor detalle en la sección de discusión, donde se explorarán las posibles implicaciones clínicas y metodológicas de estas observaciones. Los datos numéricos a partir de los cuales se realizó el mapa de calor se presentan en el Anexo 1.

Dado que todas las lesiones de la cohorte presentaban una categoría PI-RADS ≥ 3 , se consideró un umbral de PI-RADS 4-5 para el análisis que se muestra en la Figura 4. Globalmente, el 56% de las lesiones biopsiadas fueron CPcs, con tasas del 40% en la biopsia dirigida y del 37% en la sectorial. El PI-RADS 4-5 mostró una alta sensibilidad (92% global, 94% dirigida y 97% sectorial), aunque con una especificidad baja (39%, 29% y 28%, respectivamente). El VPP fue del 66% en la biopsia global, disminuyendo al 48% en la dirigida y al 46% en la sectorial, mientras que el VPN fue mayor en la sectorial (93%), seguido de la dirigida (88%) y la global (79%).

La Figura 5 ilustra el VPP de la RMmp PI-RADS ≥ 3 para la detección de CP y CPcs en función del tipo de biopsia utilizada. El VPP permitió estimar la probabilidad de que una lesión PI-RADS ≥ 3 correspondiera a CP o CPcs según la estrategia de biopsia utilizada (global/combinada, dirigida o sistemática). Para la detección de CP, el VPP global fue del 76% (N=65), con valores del 65% (N=56) en la biopsia dirigida y del 60% (N=52) en la sectorial. En el caso de los CPcs, el VPP fue del 56% globalmente (N=48), disminuyendo al 40% (N=34) en la biopsia dirigida y al 37% (N=32) en la sectorial.

Como apunte final a la sección de resultados, de acuerdo con los objetivos planteados, se analizó la calidad de las RMmp y sus informes incluidos en el estudio. La Tabla II muestra la distribución de la calidad de la RMmp y los factores determinantes según los criterios establecidos. Entre las razones principales para la calidad mala destacó la ausencia del informe en HCIS (80%), seguido de la evaluación de un radiólogo experto (20%). En los casos de calidad regular, las razones más frecuentes fueron problemas relacionados con el informe (32%), equiparable a la discordancia entre el informe y el contorno (32%), y carencias en el protocolo de RMmp (21%). Además, en el 15% de los casos, el lapso entre la RMmp y la biopsia superó los 6 meses.

DISCUSIÓN

Dado que este trabajo aún se encuentra en fase preliminar, presenta limitaciones asociadas a la ausencia de pruebas estadísticas y al tamaño reducido de la muestra. A pesar de ello, se pueden extraer conclusiones fehacientes en este punto del estudio.

CALIDAD DE LA RMmp Y SU IMPACTO EN LA FIABILIDAD DIAGNÓSTICA.

La exclusión de estudios de calidad “mala” responde a la falta de información diagnóstica confiable, evitando distorsiones en los resultados. De igual manera, la clasificación “regular” contempla limitaciones que pueden afectar la fiabilidad de la RMmp. Estos criterios han permitido estratificar la calidad de las imágenes, manteniendo la coherencia con PI-RADS V2.1 y buscando plantear una representación más precisa del rendimiento diagnóstico en la detección de CPcs. Solo el 51% fueron calificadas como de “buena” calidad, aunque es necesario el análisis mediante regresión logística para determinar si la distinción en cuanto a la calidad de la RMmp tuvo un impacto estadísticamente significativo en el rendimiento diagnóstico del PI-RADS v2.1.

La Tabla II resume la calidad de las RMmp y los informes analizados destacando las limitaciones derivadas de la externalización en la adquisición e interpretación de imágenes diagnósticas. El 80% de las RMmp excluidas no se incluyeron por fallos en el acceso a los informes en el HCIS. Las principales razones para calificar una RMmp como “regular” reflejan limitaciones conocidas de la técnica, siendo la variabilidad interobservador (32%) el factor predominante, basándose en discordancias entre el informe original y las lesiones contorneadas en el procesamiento previo a la biopsia. Las carencias en los informes radiológicos también contribuyeron considerablemente (32%). Si bien la externalización minimizó los retrasos >6 meses entre RMmp y biopsia, incrementó la heterogeneidad en los protocolos de adquisición y la calidad de los informes. Aunque la variabilidad interobservador es difícil de eliminar, la estandarización de protocolos y el uso de plantillas estructuradas podrían mitigar el resto de cuestiones relativas a la calidad de los estudios de imagen.

APROXIMACIÓN TOPOGRÁFICA AL CORRELATO DIAGNÓSTICO ENTRE PI-RADS V2.1 Y EL CPcs.

Para el análisis y discusión del mapa de calor en la Figura 3, es importante aclarar que el mapa de lesiones biopsiadas (a la derecha de la figura) refleja el mapa de lesiones en RMmp, considerando el diagnóstico histopatológico global de cada lesión y los cuadrantes

especificados previamente en el informe de RMmp. Este esquema resalta zonas "calientes" tanto en la RMmp como en los resultados de biopsia confirmados como CPcs, particularmente en el sector posterolateral de la zona periférica (PZ) del lado derecho y en el sector posteromedial de PZ del lóbulo izquierdo, siendo esta última la zona más afectada en la cohorte del estudio. Globalmente se aprecia una correlación entre las lesiones PI-RADS ≥ 3 y las lesiones confirmadas como CPcs, lo que sugiere la validez de la RMmp como herramienta diagnóstica.

La base de la próstata podría considerarse como una zona donde se asienta un número relativamente menor de lesiones planteando la posibilidad de que se considere una zona "fría" en términos de CPcs. Adicionalmente, no existe una delimitación clara entre los tercios de la próstata y muchas de las lesiones se informan como situadas en el tercio medio, lo que podría reflejar una forma de inercia diagnóstica (decantándose por un punto intermedio entre el ápex y la base prostática), ya que el mapa de lesiones CPcs no muestra un predominio claro en esta área.

Sin embargo, uno de los hallazgos más importantes del mapa de calor es la tendencia al sobrediagnóstico de lesiones en la zona de transición (TZ), que, aunque en la RMmp aparecen como potencialmente relevantes, en las biopsias no resultan ser CPcs y se representan como zonas relativamente más "frías" de lo que se planteaba en la RMmp. Este fenómeno habla de la dificultad para el diagnóstico diferencial del CP ya que en la TZ asientan los cambios por adenoma prostático, prostatitis o fibro-hiperplásicos por biopsias previas. Los falsos positivos se reflejan en el rendimiento diagnóstico del PI-RADS al reducir la especificidad y el VPP (aunque la sensibilidad se mantenga relativamente alta). En este sentido la TZ representa una oportunidad de mejora. Aunque el PI-RADS V2.1 ya considera la localización de la lesión, podría plantearse revisar los criterios diagnósticos en esta zona para mejorar la identificación de CPcs.

RENDIMIENTO DIAGNÓSTICO DEL PI-RADS V2.1 EN LA DETECCIÓN DE CPcs.

En cuanto al rendimiento diagnóstico, los valores predictivos (VPP y VPN) resultan clínicamente más relevantes que la sensibilidad y especificidad de una categoría PI-RADS aislada. En la Figura 2, se observa una marcada diferencia en los valores predictivos entre PI-RADS 3 y PI-RADS 4-5. Con un VPP del 21% y un VPN del 34%, la RMmp no parece ser un criterio fiable para definir la probabilidad de CPcs en lesiones PI-RADS 3. En el estudio publicado en 2025 sobre la indicación de biopsia en lesiones PI-RADS 3, Long Depaquit *et*

al. llegaron a la misma conclusión, destacando que solo el 12.3% de estas lesiones estaban asociadas con CPcs, planteando que la biopsia sistemática en todos los casos podría llevar a un sobrediagnóstico importante. Los autores sugieren un enfoque más selectivo, priorizando la biopsia en pacientes con otros factores de riesgo⁹. En contraste, las lesiones PI-RADS 4-5 muestran valores predictivos más sólidos para guiar la indicación de biopsia, aunque no determinantes. Llama la atención que PI-RADS 5 no presenta valores predictivos superiores a PI-RADS 4 en la detección de CPcs pese a considerar criterios de tamaño y extensión extraprostática más indicativos de CPcs. La similitud en el rendimiento diagnóstico podría atribuirse a la distribución desigual de lesiones en cada categoría de la cohorte y al tamaño muestral. Si futuros estudios con mayores cohortes confirman esta tendencia, podría considerarse hacer más estrictos los criterios de PI-RADS 5 para alcanzar un VPP aún mayor que lo distinga de la categoría PI-RADS 4.

Este estudio se enfocó en evaluar el rendimiento diagnóstico de RMmp en la detección de CPcs, considerando únicamente las lesiones PI-RADS 4-5, tras identificar las carencias diagnósticas asociadas a las lesiones PI-RADS 3 referidas en el párrafo anterior. Al comparar los resultados con otros estudios de referencia como PROMIS (sensibilidad del 93%, especificidad del 41%)⁶ y el metaanálisis de Chau Hung *et al.* (sensibilidad del 90%, especificidad del 62%)⁸, en nuestro estudio se observa que la RMmp mantiene una alta sensibilidad (92%) para detectar CPcs, lo que refuerza su utilidad clínica. Sin embargo, la especificidad obtenida en este estudio (39%) fue notablemente menor, afectada por los falsos positivos relativos al diagnóstico diferencial que se pueden apreciar incluso en el mapa de calor. En este aspecto, la calidad de la RMmp también podría jugar un papel importante.

Los valores predictivos vuelven a ser más relevantes desde el punto de vista clínico y su aplicabilidad a la práctica habitual. Nuestro estudio mostró un VPP superior (66%) en comparación con PROMIS (51%) y el metaanálisis de Chau Hung *et al.* (53%)^{6,8}. Esta diferencia podría explicarse, en parte, porque solo se consideraron lesiones PI-RADS 4-5, mientras que los otros estudios incluyeron lesiones PI-RADS 3-5, aumentando la proporción de verdaderos positivos en nuestra cohorte. En cuanto al VPN, nuestro estudio mostró un valor algo más bajo (79%) en comparación con PROMIS (89%) y el metaanálisis (93%). La superioridad del VPN del metaanálisis de Chau Hung *et al.* se explica en base a que este definió CPcs como ISUP ≥ 1 limitando en gran medida las lesiones falsos negativos. Queda comentar que en el estudio PROMIS los criterios PI-RADS no se aplicaron de manera estricta, ya que en el momento de su realización dichos criterios aún estaban en desarrollo, lo que podría haber introducido variabilidad en la clasificación de las lesiones.

COMPARACIÓN DEL VPP DEL PI-RADS V2.1 SEGÚN LA MODALIDAD DE BIOPSIA.

La biopsia combinada, que integra la biopsia dirigida por RM/ECO y la sistemática, ha demostrado ser superior en la detección de CPcs y en la reducción de la reclasificación del grado tumoral¹⁰. En la misma línea, en este estudio, se observa una disminución gradual del VPP de un PI-RADS ≥ 3 para la detección de CP y CPcs al analizar por separado la biopsia dirigida y la sistemática, en comparación con los resultados globales (que combina los cilindros de biopsia dirigida con los de biopsia sistemática) (Figura 5). La consideración de resultados globales optimiza el VPP de la RMmp, fortaleciendo la base diagnóstica sobre la que se sustenta la decisión de biopsia en la práctica habitual. Destaca la diferencia en el VPP para CPcs: 56% en la biopsia global, frente al 40% en la dirigida y el 37% en la sistemática. Del mismo modo, para la detección de general de adenocarcinoma de próstata, el VPP de un PI-RADS ≥ 3 es mayor con la biopsia global que con la dirigida o la sistemática. Estos resultados refuerzan la corriente de práctica clínica que combina ambos enfoques de biopsia para mejorar la representatividad de los estudios de imagen previos, optimizando así la precisión diagnóstica y reduciendo la incertidumbre en la toma de decisiones clínicas.

LIMITACIONES.

Nuestro estudio presenta varias limitaciones que deben ser consideradas. En primer lugar, el tamaño reducido de la cohorte y la naturaleza retrospectiva del análisis pueden afectar la generalización de los resultados. La falta de estandarización en los protocolos de adquisición y la interpretación de las imágenes puede introducir sesgos y contribuyó a la variabilidad en la calidad de las RMmp, lo que podría influir en los resultados del rendimiento diagnóstico. Finalmente, la ausencia de análisis estadísticos en esta fase preliminar limita la capacidad para identificar variables confusoras, así como establecer correlaciones y diferencias basadas en la significación estadística.

También es importante destacar que este estudio se enmarca dentro de un programa de biopsias iniciado en febrero de 2024. Dado que el programa se encuentra en sus fases iniciales, es probable que los resultados actuales reflejen las primeras etapas de la curva de aprendizaje de los profesionales involucrados. En este sentido, cabe esperar que en el futuro próximo se optimicen aspectos clave del proceso, lo que podría mejorar el rendimiento diagnóstico.

PERSPECTIVAS A FUTURO.

La principal línea de desarrollo futuro será la ampliación de la cohorte, incorporando las biopsias realizadas en las últimas semanas. Esto permitirá aumentar la potencia estadística del estudio y mejorar la validez de los resultados. Una vez completada esta fase, se llevarán a cabo análisis estadísticos con dos objetivos clave: identificar posibles variables confusoras, como la calidad de la RMmp, y determinar la significación estadística de las diferencias observadas en los resultados preliminares.

Además, sería recomendable impulsar estudios que evalúen el rendimiento diagnóstico de los programas de RMmp específicos de cada centro o grupo de trabajo. Esto resulta particularmente relevante debido a la variabilidad interobservador en la interpretación de imágenes, las diferencias en los protocolos de adquisición y lectura, así como las características demográficas y logísticas propias de cada institución.

Estos estudios contribuirían a una mejor orientación en la indicación de pruebas invasivas, al permitir que la toma de decisiones se base en el rendimiento diagnóstico real de la RMmp en cada contexto específico. Esto podría optimizar la utilización de recursos y mejorar la estratificación de los pacientes que requieren una biopsia, minimizando procedimientos innecesarios sin comprometer la detección del CPcs.

CONCLUSIONES

En, este estudio retrospectivo del programa de biopsias fusión RM/ECO del HULP, el PI-RADS V2.1 puede utilizarse como predictor del CPcs. Se destaca la importancia de la calidad de la RMmp en el diagnóstico del CPcs, especialmente en lo relativo a la variabilidad interobservador y las limitaciones en los informes radiológico. Las lesiones PI-RADS 3 mostraron una baja detección de CPcs, lo que subraya sus limitaciones y la necesidad de reconsiderar su interpretación clínica. En cambio, el rendimiento de PI-RADS 4-5 fue consistente con la literatura, confirmando su validez diagnóstica para el CPcs y su utilidad para indicar biopsia. La biopsia que combina muestras dirigidas y sistemáticas optimiza la correlación con los hallazgos de RMmp, apoyando el protocolo actual del centro. Persisten retos en la interpretación de imágenes, especialmente en la zona de transición y en PI-RADS 3. Se requieren estudios con mayores cohortes para mejorar la precisión diagnóstica.

FIGURAS

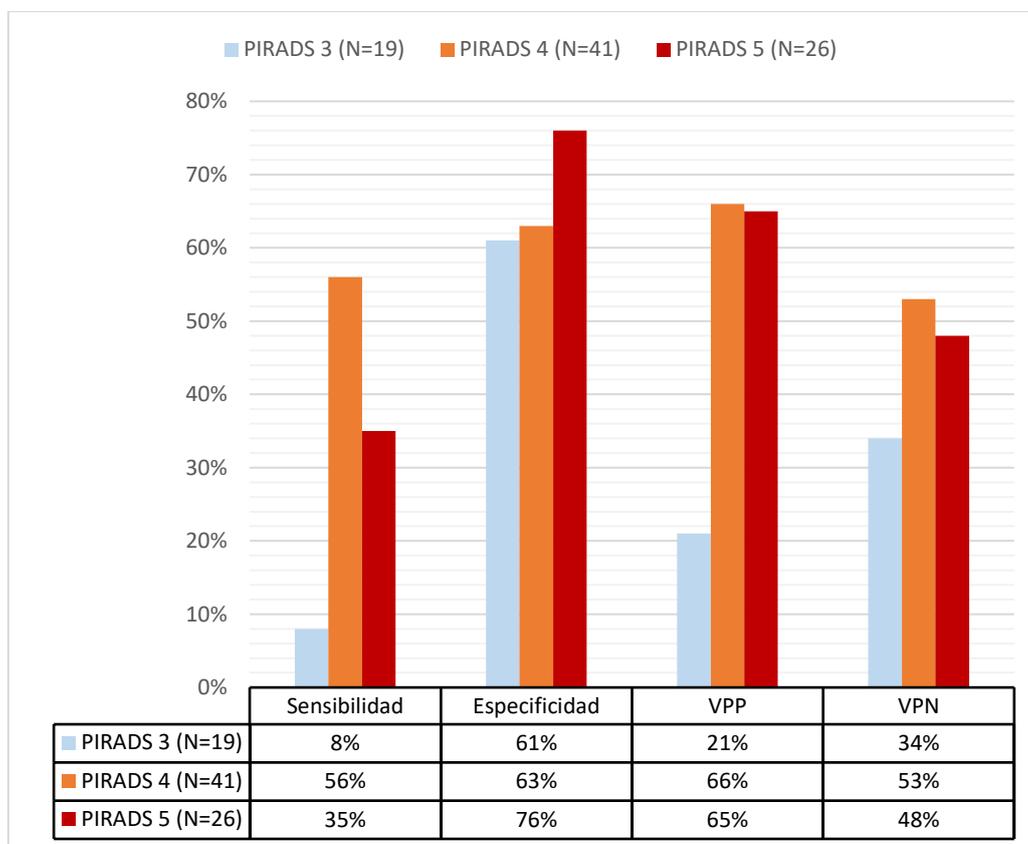


Figura 1. Rendimiento diagnóstico de PI-RADS 3, 4 y 5: sensibilidad, especificidad, VPP y VPN.

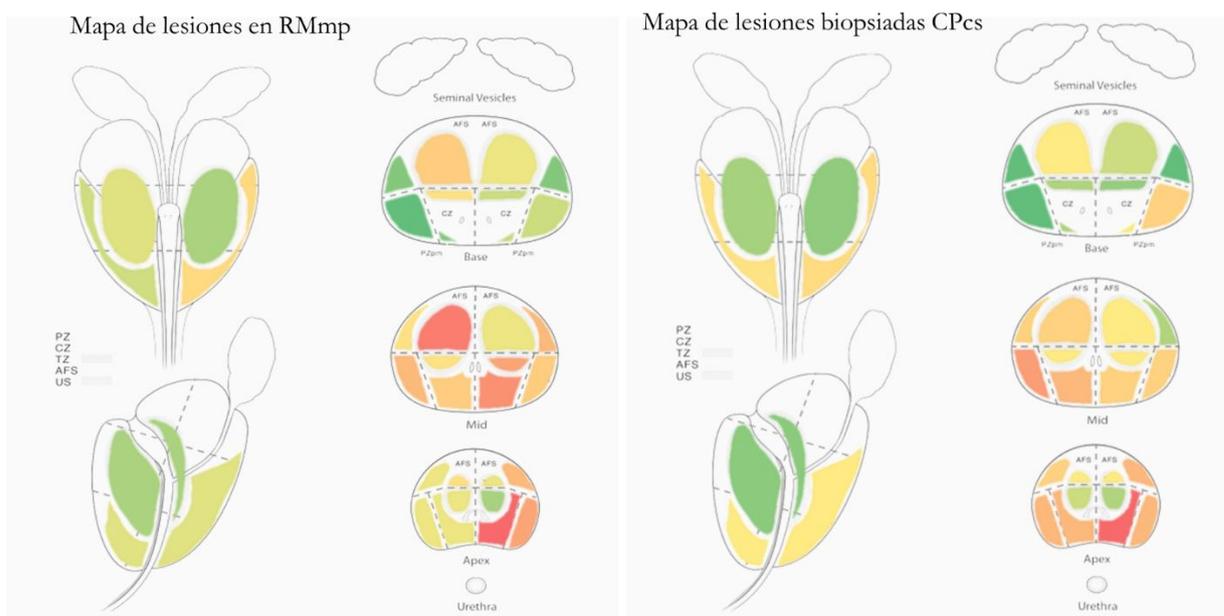


Figura 2. Mapa de calor comparando la distribución topográfica de las lesiones informadas en la RMmp con la distribución de aquellas correspondientes a CPcs.

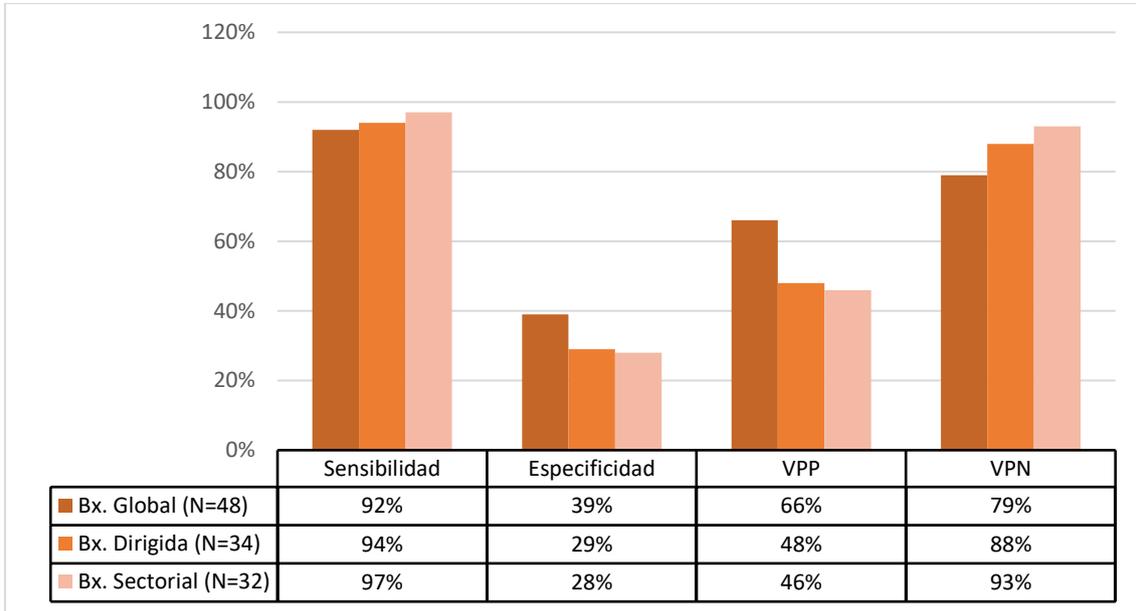


Figura 3. Rendimiento diagnóstico para la detección de CPcs de PI-RADS >3. Comparativa con biopsia dirigida y sectorial.

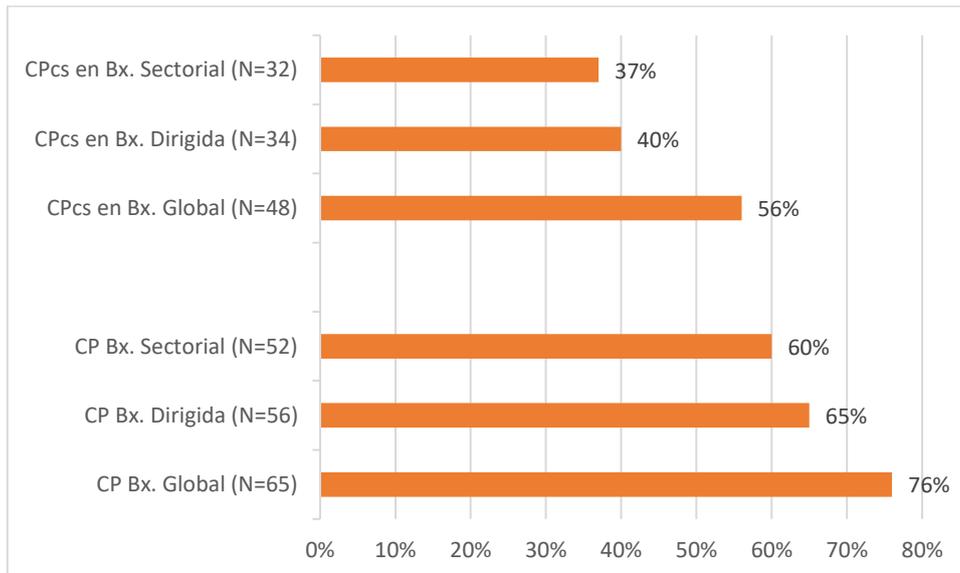


Figura 4. VPP de PI-RADS ≥ 3 para la detección de CP (abajo) y CPcs (arriba). Comparativa con biopsia dirigida y sistemática.

TABLAS.

TABLA I. CRITERIOS DE CLASIFICACIÓN DE LA CALIDAD DIAGNÓSTICA DE LA RMMP Y SU INFORME RADIOLÓGICO.

Calidad	Criterios
Mala	<ul style="list-style-type: none"> - Calificación explícita como "mala" por el radiólogo en el sistema hospitalario (HCIS) o en la base de datos del estudio. - Ausencia del informe radiológico original, incluso si se realizaron contorneo y biopsia por fusión.
Regular	<ul style="list-style-type: none"> - Discordancia entre el contorneo y el informe radiológico original. - Campo de visión (FOV) de las secuencias de difusión excesivamente amplio. - Protocolo de RMmp realizado en equipo <3T o con valor-b <1400 s/mm². - Intervalo entre la RMmp y la biopsia superior a seis meses. - Informe radiológico sin descripción de la anatomía segmentaria-sectorial de la próstata o sin especificación del tamaño de las lesiones.
Buena	<ul style="list-style-type: none"> - Cumple con todos los parámetros técnicos mínimos aceptables según PI-RADS v2.1, sin incumplir criterios de "mala" o "regular".

RMmp: Resonancia magnética multiparamétrica; HCIS: Sistema informático de información hospitalaria; FOV: Campo de visión; Bx: Biopsia.

TABLA II. CARACTERÍSTICAS DE LOS PACIENTES INCLUIDOS EN EL ESTUDIO.

Variables demográficas y clínicas	Media o n (+/- 95% CI) o (%)*
Edad (años)	69 ± 1.9
PSA total (ng/mL)	8.02 ± 0.83
Densidad PSA (ng/mL/cm ³)	0.16 ± 0.02
Volumen prostático (cm ³)	61.86 ± 6.7
Indicación diagnóstica (n)	33 (45%)
Indicación por VA (n)	41 (55%)
Variables de Resonancia**	
RM en centro externo (n)	35 (45%)
RM en HULP (n)	42 (55%)
Calidad buena (n)	40 (52%)
Calidad regular (n)	34 (41%)
Calidad mala (n)	5 (7%)
Tamaño de la lesión (MM)	13.15 ± 1.08
EEP presente (n)	8 (11%)
EEP dudosa (n)	11 (15%)
EEP ausente (n)	54 (74%)
Variables de la biopsia fusión RM-ECO	
Lapso entre RM y Bx. (meses)	4 ± 1.04
Biopsias totales (n)	2 ± 0.2
Cilindros totales (n)	17 ± 0.6
Cilindros afectados (n)	4 ± 0.7
Cilindros no representativos (n)	1 ± 0.5

*Las variables cuantitativas se expresan como media ± intervalo de confianza del 95% (95% CI), mientras que las variables categóricas se presentan como número absoluto (N) y porcentaje (%). Abreviaturas: PSA, antígeno prostático específico; VA, vigilancia activa; RM, resonancia magnética; HULP, Hospital Universitario La Paz; EEP, extensión extraprostática; Bx., biopsia

TABLA III. DISTRIBUCIÓN DE LA CALIDAD DE LA RMMP Y FACTORES DETERMINANTES SEGÚN LOS CRITERIOS ESTABLECIDOS.

Calidad	N	Porcentaje
Calidad buena	40	51%
Calidad regular	34	43%
Calidad mala	5	6%
Razones calificatorias de calidad mala		
Ausencia del informe en HCIS	4	80%
Según radiólogo experto	1	20%
Razones calificatorias de calidad regular		
Informe	15	32%
Protocolo RMmp	10	21%
Discordancia entre informe y contorno	15	32%
Lapso entre RMmp y Bx. >6 meses	7	15%

La tabla muestra la distribución absoluta y porcentual de las razones que determinaron la calidad de la RMmp como mala o regular. Abreviaturas: HCIS se refiere a la plataforma informática del Hospital Universitario La Paz. RMmp, resonancia magnética multiparamétrica y Bx, biopsia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Cornford P, van den Bergh RCN, Briers E, Van den Broeck T, Brunckhorst O, Darragh J, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer—2024 Update. Part I: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *Eur Urol.* 2024;86(2):148-163. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.027>
2. Romero-Selas E, Cuadros V, Montáns J, Sánchez E, López-Alcorocho JM, Gómez-Sancha F. Biopsia prostática transperineal con fusión de imagen ecografía-resonancia magnética. *Sistema Biopsee. Experiencia inicial. Actas Urol Esp.* 2016;40(5):295-302. <https://doi.org/10.1016/j.acuro.2015.12.002>
3. Cornford P, van den Bergh RCN, Briers E, Van den Broeck T, Brunckhorst O, Darragh J, et al. EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer-2024 Update. Part I: Screening, Diagnosis, and Local Treatment with Curative Intent. *Eur Urol.* 2024 Aug;86(2):148-163. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2024.03.027>
4. American College of Radiology. PI-RADS® Prostate Imaging – Reporting and Data System, Version 2.1 [Internet]. 2019 [citado 21 de febrero de 2025]. Disponible en: <https://edge.sitecorecloud.io/americancoldf5f-acrorgf92a-productioncb02-3650/media/ACR/Files/RADS/PI-RADS/PI-RADS-2019.pdf>
5. Antolin A, Roson N, Mast R, Arce J, Almodovar R, Cortada R, et al. The Role of Radiomics in the Prediction of Clinically Significant Prostate Cancer in the PI-RADS v2 and v2.1 Era: A Systematic Review. *Cancers.* 2024;16(17):2951. <https://doi.org/10.3390/cancers16172951>
6. Ahmed HU, El-Shater Bosaily A, Brown LC, Gabe R, Kaplan R, Parmar MK, et al. Diagnostic accuracy of multi-parametric MRI and TRUS biopsy in prostate cancer (PROMIS): a paired validating confirmatory study. *Lancet.* 2017;389(10071):815-822. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)32401-1](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)32401-1)

7. Sathianathan NJ, Omer A, Harriss E, Davies L, Kasivisvanathan V, Punwani S, et al. Negative predictive value of multiparametric magnetic resonance imaging in the detection of clinically significant prostate cancer in the Prostate Imaging Reporting and Data System era: a systematic review and meta-analysis. *Eur Urol.* 2020;78(3):402-414. <https://doi.org/10.1016/j.eururo.2020.03.048>
8. Lee CH, Vellayappan B, Tan CH. Comparison of diagnostic performance and inter-reader agreement between PI-RADS v2.1 and PI-RADS v2: Systematic review and meta-analysis. *Br J Radiol.* 2022;95(1131):20210509. <https://doi.org/10.1259/bjr.20210509>
9. Long Depaquit T, Uleri A, Peyrottes A, Corral R, Toledano H, Chiron P, et al. PI-RADS 3 MRI lesions: Are biopsies still necessary? *Fr J Urol.* 2025;35(3):102853. <https://doi.org/10.1016/j.fjurol.2024.102853>
10. Ahdoot M, Wilbur AR, Reese SE, Lebastchi AH, Mehrlivand S, Gomella PT, et al. MRI-Targeted, Systematic, and Combined Biopsy for Prostate Cancer Diagnosis. *N Engl J Med.* 2020 Mar 5;382(10):917-928. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1910038>

ANEXO. 1

Región	RMmp PI-RADS ≥ 3	ISUP Global >1
LD-A-PZa	4 (3%)	3 (4%)
LD-A-PZpl	4 (3%)	4 (5%)
LD-A-PZpm	4 (3%)	4 (5%)
LD-A-TZa	5 (3%)	2 (3%)
LD-A-TZp	4 (3%)	2 (3%)
LD-B-PZa	1 (1%)	0 (0%)
LD-B-PZpl	0 (0%)	0 (0%)
LD-B-PZpm	1 (1%)	1 (1%)
LD-B-TZa	6 (4%)	2 (3%)
LD-B-TZp	5 (3%)	1 (1%)
LD-M-PZa	5 (3%)	3 (4%)
LD-M-PZpl	7 (5%)	5 (7%)
LD-M-PZpm	6 (4%)	4 (5%)
LD-M-TZa	10 (7%)	3 (4%)
LD-M-TZp	5 (3%)	2 (3%)
LI-A-PZa	7 (5%)	4 (5%)
LI-A-PZpl	8 (5%)	4 (5%)
LI-A-PZpm	11 (7%)	7 (10%)
LI-A-TZa	4 (3%)	2 (3%)
LI-A-TZp	2 (1%)	1 (1%)
LI-B-PZa	1 (1%)	0 (0%)
LI-B-PZpl	3 (2%)	3 (4%)
LI-B-PZpm	3 (2%)	2 (3%)
LI-B-TZa	4 (3%)	2 (3%)
LI-B-TZp	3 (2%)	1 (1%)
LI-M-PZa	7 (5%)	1 (1%)
LI-M-PZpl	6 (4%)	3 (4%)
LI-M-PZpm	9 (6%)	3 (4%)
LI-M-TZa	4 (3%)	2 (3%)
LI-M-TZp	8 (5%)	2 (3%)
TZ	60 (40.82%)	22 (30.14%)
PZ	87 (59.18%)	51 (69.86%)
Total	147 (100%)	73 (100%)
LI-TZ	25 (17%)	10 (14%)
LI-PZ	55 (37%)	27 (37%)
LD-TZ	35 (24%)	12 (16%)
LD-PZ	32 (22%)	24 (33%)
Totales	147 (100%)	73 (100%)

¿GESTIONAMOS CORRECTAMENTE LAS ALERTAS DE EXCESO DE DOSIS RADIOLÓGICA EN LA ASISTENCIA CLÍNICA? UN ESTUDIO PILOTO CON LA TC DE CRÁNEO

José Alberto Munuera Flores¹, Juana María Plasencia Martínez², Fernando Canales Melgarejo³, Juan Carlos Sánchez Moreno¹, José María García Santos²

¹Estudiante del Grado de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia; ²Servicio de Radiología. Hospital Universitario Morales Meseguer; ³Sistema Regional de Gestión de Dosis. Siemens Healthineers
josealberto.munueraf@um.es; plasen79@gmail.com; fernando.canales_melgarejo.ext@siemens-healthineers.com; jc.sanchezmoreno@um.es; josem.garcia11@carm.es

RESUMEN

La tomografía computarizada (TC) es la principal fuente de radiación ionizante con fines diagnósticos. La Región de Murcia cuenta con un sistema de gestión de dosis que permite monitorizar la exposición a la radiación. Este estudio analiza la justificación de alertas por dosis excesiva en los tres hospitales metropolitanos de la Región de Murcia, para determinar la prevalencia de alertas, el porcentaje de justificación y analizar los factores asociados. Incluimos pacientes mayores de 18 años estudiados con TC craneal entre octubre de 2023 y octubre de 2024. Entre el 50 y el 80% de las alertas no se justificaron; las diferencias entre hospitales en la justificación fueron significativas; la justificación tuvo variaciones en los turnos diarios y estacionales; algunas justificaciones alegadas pueden ser espurias. La formación, concienciación y, en su caso, la intervención en los profesionales implicados es necesario para mejorar los estándares actuales.

INTRODUCCIÓN

La aplicación de radiación ionizante en el ámbito de la medicina es una práctica que no deja de crecer y evolucionar. De acuerdo con el Comité Científico de Naciones Unidas sobre los Efectos de la Radiación Atómica (UNSCEAR)¹, este constante avance es debido principalmente a la incorporación y mejora de nuevas tecnologías de diagnóstico, al asentamiento de la imagen digital y a la continua innovación de los equipos médicos como el caso de la tomografía computarizada (TC) multidetector. Como consecuencia, el incremento en la realización de estos exámenes médicos tiene un impacto considerable en la dosis total de radiación recibida por la población debido a pruebas médicas, y, de ellos, la TC¹.

En el año 1928 se creó un organismo internacional independiente, la Comisión Internacional de Protección Radiológica (ICRP), cuya función es la de asesorar y marcar las directrices para conseguir una adecuada protección contra las radiaciones ionizantes². Dichas recomendaciones están basadas en tres principios básicos: justificación, optimización y limitación de dosis³. En el ámbito médico, la justificación hace referencia a la necesidad de que el uso de las radiaciones ionizantes debe siempre implicar un beneficio para el paciente; la optimización de la dosis de radiación implica mantenerla en el nivel más bajo posible para obtener un resultado adecuado; finalmente, conocer los niveles de referencia adecuados para cada exposición médica es obligatorio para limitar la dosis recibida a los estándares establecidos⁴. La justificación de las pruebas radiológicas es responsabilidad tanto de quien las solicita como de quien está habilitado (el radiólogo) para tomar la decisión final⁴. Se trata de un proceso complejo que está en la base de la exposición del paciente a la radiación. Su complejidad radica precisamente en la implicación de varios médicos y la necesidad de una transmisión adecuada de la información entre ellos. La información inadecuada y la dificultad para disponer de sistemas de ayuda a la petición clínica incorporados en los flujos de trabajo hacen de esto un problema difícil de afrontar con éxito⁵. Por lo tanto, el problema de la justificación continuará siendo por el momento una cuenta pendiente. Sin embargo, tanto la optimización de los protocolos de estudio como la limitación de la dosis son procesos que dependen estrictamente de los servicios de radiología y las mejoras pueden implantarse más fácilmente.

En el año 2016, la Consejería de Sanidad de la Región de Murcia y el Servicio Murciano de Salud (SMS) pusieron en marcha un proyecto de gestión de dosis regional con el objetivo de optimizar la dosis de radiación médica, que incluía un contrato por concurso público con una empresa externa (en la actualidad *Siemens Healthineers*) que provee el hardware y software de un sistema de gestión de dosis de radiación (en la actualidad *Radiation Dose Monitor – RDM*)⁶. Desde entonces, la Subdirección General de Tecnologías de la Información (SGTI), la empresa proveedora y los servicios de radio-protección y de radiología regionales han estado trabajando estrechamente. Por un lado, se ha logrado estandarizar regionalmente los protocolos de estudio de la TC en todos los servicios de radiología de la red pública de salud. La estandarización de los protocolos más utilizados ha permitido tener una base común con la que poder comparar las dosis entre centros sanitarios, y optimizarlos estructuradamente. La optimización de los protocolos permite reducir las dosis de radiación todo lo posible manteniendo la utilidad diagnóstica⁷.

Por otro lado, en cuanto a la limitación de la dosis, el sistema informático de gestión de dosis permite disponer de toda la información de dosis por paciente. Esa información ha sido fundamental para establecer los límites de referencia de dosis adecuadas para cada estudio de TC y, a partir de ellos, alertar instantáneamente de aquellos casos en los que la dosis de radiación no ha estado dentro de esos límites. Ese trabajo conjunto en los comités regionales y locales, donde se toman decisiones para la mejora continua a partir de la información actualizada de forma continua, ha permitido que la Región de Murcia, como tal región, esté a la cabeza nacional en la gestión de dosis radiológica⁸ y que los nueve hospitales de la red pública de salud hayan conseguido la máxima acreditación EUROSAFE de la Sociedad Europea de Radiología (ESR)⁹.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

- Determinar y comparar la prevalencia de las alertas por sobredosis de radiación en los estudios de cráneo convencionales en todos los equipos de TC de tres áreas de salud de la Región de Murcia similares en el número y características de la población, así como la tecnología de TC.
- Determinar y comparar el porcentaje de alertas justificadas entre los tres centros sanitarios.
- Determinar y comparar las razones que justificaron el exceso de radiación entre los tres centros sanitarios.
- Analizar específicamente si las justificaciones para el exceso de dosis se correspondieron con la realidad.
- Analizar en nuestro servicio los factores que pueden estar detrás de la justificación incorrecta, relacionados con el TER (tipo de contrato, tiempo en el servicio de radiología, nivel de dedicación a la TC, turno diario de la alerta, etc).

MATERIAL Y MÉTODOS

Desde el sistema de gestión de dosis RDM recogeremos datos de todos los pacientes ≥ 18 años con un estudio de TC craneal convencional (codificados en el Sistema de Información Radiológica – RIS como “TC DE CEREBRO SIN CONTRASTE”, “TC DE CEREBRO CON CONTRASTE” o “TC DE CEREBRO SIN/CON CONTRASTE”) realizados entre octubre de 2023 y diciembre de 2024 en los servicios de radiología de las tres áreas de salud de la Región de Murcia que incluyen el centro y el área metropolitana de la ciudad de Murcia, codificados como Centros Radiológicos 1, 2 y 3. El número total de equipos de TC es de 8,

repartidos en 3 en dos de los centros, y 2 en el restante: 2 TC *General Electric* Optima, 2 TC *Siemens* Somatom, 2 TC *General Electric* Revolution HD 1 TC *General Electric* Revolution Frontier, y 1 TC *General Electric* Revolution Apex. Los datos que se recogerán en cada paciente se presentan en la Tabla I.

TABLA I. VARIABLES RECOGIDAS EN CADA PACIENTE

Variable	Tipo	Medida
1. Alerta	Cualitativa	No alerta; alerta 1; alerta 2
2. Producto dosis longitud (DLP)	Cuantitativa	miliGrays x cm
3. Irradiaciones	Cuantitativa	Número de barridos
4. Índice Dosis TC volumen ponderado (CTDIvol)	Cuantitativa	miliGrays
5. Desviación x del centrado en el gantry	Cuantitativa	Centímetros
6. Desviación y del centrado en el gantry	Cuantitativa	Centímetros
7. Desviación x-y del centrado en el gantry	Cuantitativa	Centímetros
8. Sexo	Cualitativa	Hombre; Mujer
9. Edad	Cuantitativa	Años
10. Estatura	Cuantitativa	Centímetros
11. Peso	Cuantitativa	Kilogramos
12. Índice de Masa Corporal (IMC)	Cuantitativa	Kg/m ²
13. Protocolo de estudio asignado (radiólogo)	Cualitativa	Código numérico
14. Estudio realizado RIS (técnico de radiología)	Cualitativa	Código numérico
15. Fecha y hora de estudio (turnos)	Cualitativa	Mañana-tarde-noche
16. Equipo de tomografía computarizada	Cualitativa	Código numérico
17. Servicio de Radiología	Cualitativa	Código numérico
18. Técnico de radiología responsable	Cualitativa	Código numérico
19. Longitud del barrido (escaneo)	Cuantitativa	Milímetros
20. Kilovoltaje promedio	Cuantitativa	Kilovoltios
21. Corriente del tubo de Rx	Cuantitativa	Miliamperios
22. Corriente máxima del tubo	Cuantitativa	Miliamperios
23. Colimación simple y total	Cuantitativa	Milímetros
24. Pitch Factor	Cuantitativa	Ratio
25. Tiempo de exposición	Cuantitativa	Segundos
26. Tiempo de exposición / rotación del tubo de Rx	Cuantitativa	Segundos
27. Espesor de corte	Cuantitativa	Milímetros
28. Nivel de reconstrucción iterativa	Cuantitativa	Porcentaje
29. Código de razón de justificación de la alerta	Cualitativa	Código numérico

Todas las tablas Excel generadas por RDM serán anonimizadas por uno de los investigadores no principales, que forma parte de la empresa contratada dentro del proyecto. Cada paciente tendrá un código numérico que permita identificarlo en caso de ser necesario por alguna razón relacionada con los datos del análisis. Sólo uno de los investigadores principales, y garante de la confidencialidad de los datos (JMGS), dispondrá de las tablas completas.

De todas las variables, las fundamentales en nuestro análisis serán el porcentaje de alertas, porcentaje de justificación de alertas, técnico de radiología responsable, motivo de justificación de la alerta (Tabla II), turno horario del estudio con alerta, equipo de TC y servicio de radiología. El resto de las variables serán utilizadas en el caso de tener que analizar específicamente los casos en los que la justificación de la alerta pueda no estar debidamente justificada.

TABLA II. CÓDIGOS DE LOS MOTIVOS DE JUSTIFICACIÓN DE LAS ALERTAS

Códigos	Motivos
C0	Estudio interrumpido
C01	Politraumatizado
C03	Sobrepeso
C04	Paciente movido
C05	Fallo de inyección de contraste
C06	Ampliación de estudio por falta de información
C07	Fallo en el centraje
C08	Brazos a lo largo del cuerpo o cerca del área de exploración
C09	Paciente con inmovilizaciones
C10	Reacción adversa al contraste
C11	Fallo del equipo
C12	Paciente erróneo
C13	Causa desconocida
C14	Calibración del equipo
C15	Imagen no diagnóstica
C16	Otros motivos

Las variables cuantitativas se representarán en medias y desviación estándar, y las cualitativas, en frecuencias y porcentajes. Las variables cuantitativas se compararán con los test *t student* o ANOVA, o sus equivalentes no paramétricos según sea adecuado, y lo mismo para las variables cualitativas, que podrán analizarse con los test de la χ^2 o exacto de Fisher. Los factores que puedan ser determinantes en la justificación de las alertas podrán analizarse con un análisis uni y multivariante. El análisis se hará con el software SPSS y MedCalc.

RESULTADOS

Durante el periodo comprendido entre octubre de 2023 y diciembre de 2024, se registraron un total de 4.355 alertas por exceso de dosis radiológica en estudios de tomografía computarizada (TAC) cerebral en los tres hospitales metropolitanos de la Región de Murcia: HCUVA General, HGRS y HUMM. Estas alertas representaron el 16,37% de los 26.605 estudios realizados. Del total de alertas, 1.631 (37,5%) fueron justificadas, mientras que en 2.724 estudios (62,5%) no se registró justificación alguna. La Tabla III resume la distribución de alertas y justificaciones en cada hospital.

TABLA III. DISTRIBUCIÓN DE ALERTAS Y JUSTIFICACIONES POR HOSPITAL

Hospital	Alertas totales	Justificaciones	% justificadas	Sin justificación n (%)
HCUVA	1.637	349	21,3%	1.288 (78,7%)
HGRS	1.168	512	43,8%	656 (56,2%)
HUMM	1.550	770	49,7%	780 (50,3%)
Total	4.355	1.631	37,5%	2.724 (62,5%)

En el HCUVA General, se identificaron 1.637 alertas, de las cuales 349 (21,3%) contaban con una justificación. La causa más frecuente fue la "ampliación de estudio por falta de información", representando el 46,1% de las justificaciones. En el HGRS, se detectaron 1.168 alertas, de las cuales 512 (43,8%) fueron justificadas. La justificación más frecuente también fue la "ampliación de estudio por falta de información" (57,6%). En el HUMM, se registraron 1.550 alertas, de las cuales 770 (49,7%) fueron justificadas. La justificación más frecuente fue la "ampliación de estudio por falta de información", representando el 23,2% del total de alertas. En conjunto, la categoría de justificación "ampliación de estudio por falta de información" fue la más recurrente en los tres centros, representando el 49,96% de todas las justificaciones (815 de 1.631 casos). En la Tabla IV se refleja cada tipo de justificación mediante su respectivo código y la frecuencia por hospital.

TABLA IV. REGISTRO DE TIPOS DE JUSTIFICACIONES Y SU FRECUENCIA POR HOSPITAL

Códigos	HCVA	HGRS	HUMM	Total general
C0	-	-	2 (0,1%)	2 (0,12%)
C01	5 (0,3%)	64 (5,5%)	41 (2,6%)	110 (6,7%)
C03	43 (2,6%)	28 (2,4%)	42 (2,7%)	113 (6,9%)
C02	3 (0,2%)	25 (2,1%)	119 (7,7%)	147 (9,0%)
C04	20 (1,2%)	44 (3,8%)	26 (1,7%)	90 (5,5%)
C05	-	5 (0,4%)	-	5 (0,3%)
C06	161 (9,8%)	295 (25,3%)	359 (23,2%)	815 (49,9%)
C07	12 (0,7%)	11 (0,9%)	40 (2,6%)	63 (3,8%)
C08	9 (0,5%)	2 (0,2%)	2 (0,1%)	13 (0,8%)
C09	2 (0,1%)	-	5 (0,3%)	7 (0,4%)
C10	-	-	-	-
C11	-	-	1 (0,1%)	1 (0,06%)
C12	-	-	14 (0,9%)	14 (0,8%)
C13	39 (2,4%)	21 (1,8%)	40 (2,6%)	100 (6,1%)
C14	-	-	-	-
C15	2 (0,1%)	-	-	2 (0,1%)
C16	53 (3,2%)	17 (1,5%)	79 (5,1%)	149 (9,1%)
Total	349	512	770	1631

En cuanto al registro de los técnicos responsables de la prueba, se evidenciaron diferencias significativas entre los hospitales, con el HUMM mostrando el porcentaje más alto de documentación del técnico responsable. La Tabla V presenta un resumen del registro del técnico en el total de alertas y en el subconjunto de justificaciones.

TABLA V. REGISTRO DEL TÉCNICO RESPONSABLE EN ALERTAS Y JUSTIFICACIONES

Hospital	Total alertas sin técnico n (%)	Total alertas con técnico (n)	Justificaciones con técnico (n)	Técnico predominante (n)
HCUVA	1.149/1.168 (98,3%)	19	2	RMS (16 en alertas totales)
HGRS	1.553/1.637 (94,9%)	84	32	CSL (29 en justificaciones, 92,9%)
HUMM	182/1.550 (11,7%)	1.368	730	RLS (111) y JAG (97)
Total	2.884/4.355 (66,22%)	1.471	-	-

En el 94,9% de las alertas del HCUVA General no se registró el técnico responsable, y en los casos en los que sí se documentó, predominó el técnico identificado como “CSL” en el 92,9% de todas las justificaciones.

En el 98,3% de las alertas del HGRS no se registró el técnico responsable. En las 19 ocasiones en que se documentó, el técnico predominante fue “RMS”, aunque en el subconjunto de estudios con justificación solo se consignó el técnico en dos casos.

A diferencia de los otros hospitales, en el HUMM se registró el técnico responsable en el 88,3% de los estudios, con predominio de los técnicos “RLS” y “JAG”, quienes figuraron en el 15,2% y 13,3% de las justificaciones, respectivamente.

En términos de distribución temporal, se observó que octubre fue el mes con mayor número de justificaciones, seguido de abril. En el HUMM, septiembre, noviembre y diciembre también presentaron un volumen considerable de justificaciones. Se puede observar en la Tabla VI la distribución mensual por hospital de la frecuencia global de justificaciones (J) o no justificaciones (No J).

Respecto a la distribución horaria, en el HGRS las justificaciones se concentraron entre las 09:00 y las 12:00 horas, mientras que en el HUMM se evidenció un incremento entre las 10:00 y las 13:00 horas. En el HCUVA, el número máximo de justificaciones se alcanzó alrededor de las 12:00 horas. La Tabla VII representa dicho registro horario.

TABLA VI. DISTRIBUCIÓN MENSUAL POR HOSPITAL DE LA FRECUENCIA GLOBAL DE JUSTIFICACIONES (J) O NO JUSTIFICACIONES (NO J)

Hora	Año	HCUVA General		HGRS		HMM		Total General	
		J (%)	No J	J (%)	No J	J (%)	No J	J (%)	No J
Enero	2024	4 (1,1)	99	32 (6,2)	56	58 (7,5)	45	94 (5,7)	200
Febrero	2024	9 (2,5)	115	32 (6,2)	67	38 (4,9)	85	79 (4,8)	267
Marzo	2024	13 (3,7)	129	27 (5,2)	44	59 (7,6)	54	99 (6,0)	227
Abril	2024	35 (10,0)	92	62 (12,1)	66	53 (6,8)	93	150 (9,1)	251
Mayo	2024	31 (8,9)	129	35 (6,8)	31	38 (4,9)	45	104 (6,3)	205
Junio	2024	18 (5,1)	106	30 (5,8)	36	59 (7,6)	51	107 (6,5)	193
Julio	2024	3 (0,8)	125	54 (10,5)	45	49 (6,3)	17	106 (6,5)	187
Agosto	2024	13 (3,7)	88	39 (7,6)	41	55 (7,1)	27	107 (6,5)	156
Septiembre	2024	27 (7,7)	49	22 (4,3)	53	73 (9,4)	50	122 (7,4)	152
Octubre	2024	128 (36,6)	16	42 (8,2)	30	98 (12,7)	44	268 (16,4)	80
Noviembre	2024	7 (2,0)	25	-	5	17 (2,2)	21	24 (1,4)	51
Diciembre	2024	-	-	-	-	2 (0,2)	3	2 (0,1)	3
Octubre	2023	21 (6,0)	110	59 (11,5)	78	47 (6,1)	110	127 (7,7)	308
Noviembre	2023	30 (8,6)	90	33 (6,4)	63	62 (8,0)	54	125 (7,6)	207
Diciembre	2023	10 (2,8)	115	45 (8,8)	41	62 (8,0)	81	117 (7,1)	239
Total	-	349	1288	512	656	770	780	1631	2724
		1637 alertas		1168 alertas		1550 alertas		4355 alertas totales	

TABLA VII. REGISTRO HORARIO DE JUSTIFICACIONES

Hora	HCUVA General	HGRS	HMM	Total General
00:00h	13 (3,7%)	12 (2,3%)	11 (1,4%)	36 (2,2%)
01:00h	19 (5,4%)	7 (1,3%)	3 (0,3%)	29 (1,7%)
02:00h	3 (0,8%)	7 (1,3%)	6 (0,7%)	16 (0,9%)
03:00h	4 (1,1%)	2 (0,4%)	1 (0,1%)	11 (0,6%)
04:00h	3 (0,8%)	-	2 (0,2%)	7 (0,4%)
05:00h	-	2 (0,4%)	1 (0,1%)	11 (0,6%)
06:00h	2 (0,5%)	4 (0,7%)	2 (0,2%)	4 (0,2%)
07:00h	6 (1,7%)	1 (0,2%)	14 (1,8%)	23 (1,4%)
08:00h	19 (5,4%)	27 (5,2%)	57 (7,4%)	90 (5,5%)
09:00h	15 (4,3%)	51 (9,9%)	63 (8,1%)	133 (8,1%)
10:00h	21 (6,1%)	41 (8,0%)	79 (10,2%)	123 (7,5%)
11:00h	44 (12,6%)	78 (15,2%)	45 (5,8%)	217 (13,3%)
12:00h	55 (15,7%)	64 (12,5%)	92 (11,9%)	211 (12,9%)
13:00h	47 (13,4%)	36 (7,0%)	68 (8,8%)	125 (7,6%)
14:00h	21 (6,1%)	22 (4,3%)	53 (6,8%)	102 (6,2%)
15:00h	8 (2,3%)	11 (2,1%)	27 (3,5%)	46 (2,8%)
16:00h	9 (2,6%)	12 (2,3%)	58 (7,5%)	50 (3,0%)
17:00h	11 (3,1%)	20 (3,9%)	25 (3,2%)	46 (2,8%)
18:00h	11 (3,1%)	15 (2,9%)	32 (4,1%)	50 (3,0%)
19:00h	5 (1,4%)	25 (4,9%)	35 (4,5%)	63 (3,9%)
20:00h	4 (1,1%)	29 (5,6%)	27 (3,5%)	60 (3,6%)
21:00h	11 (3,1%)	13 (2,5%)	8 (1,0%)	41 (2,5%)
22:00h	5 (1,4%)	13 (2,5%)	24 (3,2%)	62 (3,8%)
23:00h	13 (3,7%)	20 (3,9%)	37 (4,8%)	63 (3,9%)
Total	349	512	770	1631

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian una alta prevalencia de alertas por exceso de dosis radiológica en los estudios de tomografía computarizada (TC) de cráneo, con diferencias notables en la justificación de estas alertas entre los tres hospitales analizados. Aunque el sistema de gestión de dosis ha permitido identificar y cuantificar estos eventos, el porcentaje de justificaciones sigue siendo bajo, con un 62,5% de alertas sin justificación documentada.

La causa más frecuente de justificación fue la ampliación del estudio por falta de información, lo que sugiere deficiencias en la transmisión de datos clínicos previos a la solicitud del examen. Este hallazgo subraya la necesidad de mejorar los protocolos de comunicación entre los equipos médicos para reducir exposiciones innecesarias a la radiación.

Es llamativa la presencia de la justificación "sobrepeso" en algunos casos, cuando esta condición no debería afectar la adquisición de imágenes en una TC de cráneo. A diferencia de estudios en otras regiones anatómicas donde el índice de masa corporal (IMC) puede influir en la calidad de la imagen o en la cantidad de radiación necesaria, en el caso del cráneo la atenuación de los tejidos no se ve significativamente afectada por el peso del paciente. Esto sugiere la posible existencia de justificaciones erróneas o de una aplicación inadecuada de los criterios de validación de alertas.

Las diferencias en el registro del técnico responsable entre hospitales también resultan relevantes. Mientras que en el HUMM se documentó al técnico en la mayoría de los casos, en el HGRS y el HCUVA esta información estuvo ausente en un alto porcentaje. Esto podría estar relacionado con diferencias en los procedimientos administrativos y en el grado de implementación de prácticas de control de calidad en los distintos centros.

El análisis temporal mostró picos de justificación en determinados meses y franjas horarias, lo que sugiere una posible relación con la carga asistencial y la disponibilidad de personal capacitado para evaluar adecuadamente las alertas. Estos factores refuerzan la necesidad de una mejor organización de los turnos y de una formación continua del personal implicado en la gestión de dosis.

CONCLUSIONES

Este estudio revela deficiencias en la justificación de alertas por exceso de dosis radiológica en estudios de TC de cráneo, con una elevada variabilidad entre hospitales. La falta de justificación documentada en más del 60% de los casos resalta la necesidad de estrategias de mejora en la transmisión de información clínica y en la formación del personal implicado.

Se identificaron justificaciones cuestionables, como la atribución del sobrepeso como causa de un aumento en la dosis de radiación en estudios craneales, cuando esta variable no debería influir en la adquisición de la imagen. La presencia de estos errores sugiere la importancia de revisar los criterios de validación y asegurar un uso adecuado de las justificaciones.

Las diferencias en el registro del técnico responsable y la variabilidad temporal sugieren que factores organizativos y administrativos pueden influir en la gestión de las alertas. Implementar medidas de optimización y control en los flujos de trabajo de los servicios de radiología podría contribuir significativamente a reducir la exposición innecesaria a la radiación, mejorando la seguridad del paciente y el cumplimiento de los principios de protección radiológica.

BIBLIOGRAFÍA

1. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR). Sources, effects and risks of ionizing radiation. UNSCEAR 2020/2021 report to the General Assembly, with scientific annexes. Volume I: Scientific Annex A. New York: United Nations; 2022 [citado 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: https://www.unscear.org/unscear/uploads/documents/publications/UNSCEAR_20_21_Annex-A.pdf

2. Consejo de Seguridad Nuclear. Protección radiológica [Internet]. Madrid: Consejo de Seguridad Nuclear; [s.f.] [citado 1 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.csn.es/proteccion-radiologica>
3. Real Decreto 1029/2022, de 20 de diciembre, por el que se aprueba el Reglamento sobre protección de la salud contra los riesgos derivados de la exposición a las radiaciones ionizantes. Boletín Oficial del Estado, n.º 305, 21 de diciembre de 2022 [citado 1 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/pdf/2022/BOE-A-2022-21682-consolidado.pdf>
4. Real Decreto 601/2019, de 18 de octubre, sobre justificación y optimización del uso de las radiaciones ionizantes para la protección radiológica de las personas con ocasión de exposiciones médicas. Boletín Oficial del Estado, n.º 262, 31 de octubre de 2019 [citado 1 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.boe.es/boe/dias/2019/10/31/pdfs/BOE-A-2019-15604.pdf>
5. El 30 % de las pruebas de imagen que se solicitan no contienen la justificación necesaria. Univadis [Internet]. 2022 [citado 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.univadis.es/viewarticle/el-30-de-las-pruebas-de-imagen-que-se-solicitan-no-contienen-2022a10026sx>
6. Sanidad implanta un sistema para medir la dosis de radiación que reciben los pacientes durante las pruebas radiológicas. MurciaSalud [Internet]. 17 de noviembre de 2016 [citado 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.murciasalud.es/-/sanidad-implanta-un-sistema-para-medir-la-dosis-de-radiacion-que-reciben-los-pacientes-durante-las-pruebas-radiologicas>
7. Salmerón I, Calzado A, Ruiz-López L, Alonso V, Cordeiro C, Fraile E. Tomografía computarizada multicorte en un servicio de radiodiagnóstico: estudio de las dosis impartidas durante 1 año. Radiología. 2009;51(2):163-170. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2008.03.002>
8. La Región es la primera comunidad europea que controla la radiación en pruebas de imagen médica. MurciaSalud [Internet]. 7 de julio de 2017 [citado 12 de diciembre de 2025]. Disponible en: <https://www.murciasalud.es/-/la-region-es-la-primer-comunidad-europea-que-controla-la-radiacion-en-pruebas-de-imagen-medica>
9. ESR EuroSafe Imaging. Wall of Stars. EuroSafe Imaging [Internet]. [citado 12 de diciembre de 2024]. Disponible en: <https://www.eurosafeimaging.org/stars/wall-of-stars>

OPTIMIZANDO EL PREPROCESAMIENTO DE LA IMAGEN POR RESONANCIA MAGNÉTICA: ESTIMACIÓN CIEGA DE RUIDO CON CAMPOS ALEATORIOS GAUSSIANOS

¹Mario Pascual González , ^{1,2}Ezequiel López Rubio , ^{1,3}Francisco Sendra Portero , ^{1,4}Almudena Pérez Lara 

¹Instituto de Investigación Biomédica de Málaga y Plataforma en Nanomedicina-IBIMA Plataforma BIONAND, C/ Severo Ochoa, 35, Málaga TechPark, Campanillas, 29590, España

²ITIS Software, Universidad de Málaga, C/ Arquitecto Francisco Peñalosa, 18, Málaga, 29071, España

³Departamento de Radiología y Medicina Física, Facultad de Medicina, Universidad de Málaga, Boulevard Luis Pasteur 32, Málaga 29071, España;

⁴Departamento de Radiología. Hospital Regional Universitario de Málaga, Av. de Carlos Haya, 84, Bailén-Miraflores, 29010 Málaga

mpascual@uma.es; ezeqlr@lcc.uma.es; sendra@uma.es; almudenaperezlara@gmail.com

RESUMEN

Las Redes Neuronales Convolucionales (RNC) requieren datos de calidad para segmentar lesiones cerebrales. La Imagen por Resonancia Magnética nuclear (IRM), común en entornos clínicos, introduce ruido no estacionario de origen térmico, modelado teóricamente con distribuciones de Rice. Al estandarizar la resolución de imágenes de distinta procedencia, se añaden píxeles que generan discontinuidades en el fondo, lo cual altera los parámetros de la RNC, mermando su capacidad de delimitar lesiones. Sin información sobre la reconstrucción del k-espacio en muchos IRM de naturaleza clínica, los métodos de estimación únicamente basados en la imagen resultan esenciales para aproximar la distribución espacial e intensidad del ruido. Este artículo propone una metodología de estimación ciega de ruido en IRM basada en Campos Aleatorios Gaussianos (*Gaussian Random Fields*, GRF), que modela y genera ruido no estacionario, permitiendo la generación de cortes de ruido ilimitados para preprocesamiento y aumentación de datos.

INTRODUCCIÓN

Las Redes Neuronales Convolucionales (RNC) son un tipo de arquitectura de aprendizaje profundo que incorpora al menos una capa convolucional para extraer características relevantes en imágenes ⁽¹⁾. Gracias a su capacidad de adaptación a diversos problemas y a su alto rendimiento, se emplean ampliamente en imagen biomédica, destacando su uso para tareas de segmentación en neuroimagen ⁽²⁾.

Las RNC requieren un proceso de entrenamiento para ajustar una serie de parámetros internos (pesos) que capturan patrones de interés. A medida que la red aumenta en

profundidad, dichos patrones se vuelven más complejos y menos interpretables, llegando a ser decisivos para la correcta delimitación de lesiones en la imagen de entrada.

Para lograr un entrenamiento efectivo, es fundamental considerar varios factores, entre ellos la calidad de los datos de entrada. Esta calidad depende en gran medida del preprocesamiento aplicado a las imágenes, etapa que, o bien no se menciona, o suele pasarse por alto en muchos estudios de segmentación por aprendizaje profundo^(3,4).

En este sentido, el preprocesamiento es crucial porque las RNC no priorizan zonas específicas de la imagen, a diferencia de métodos ad-hoc tradicionales, que usan técnicas para destacar ciertas regiones de interés⁽⁵⁾, sino que “observan” la totalidad de la imagen de forma equitativa. Por ello, cualquier incoherencia accidental entre distintas secciones puede afectar los pesos de la red y, en consecuencia, disminuir su rendimiento.

A la hora de crear conjuntos de datos de Imagen por Resonancia Magnética (IRM) para entrenar modelos que delimiten lesiones cerebrales, es común recibir imágenes de diferentes equipos de adquisición. Esto origina resoluciones variadas que deben homogeneizarse para unificar el conjunto de datos. Durante este proceso, se añaden píxeles en los bordes de las imágenes para mantener la relación de aspecto de las estructuras anatómicas al reescalar. Sin embargo, dichos píxeles pueden generar inconsistencias en la imagen, desviando la atención de la red y dificultando la adquisición de las características de las lesiones.

Varios estudios que utilizan la imagen como única fuente de información (ciegos) optan por eliminar por completo el fondo de la imagen, técnica conocida como “*skull stripping*”, basada en eliminar el cráneo junto el fondo de la imagen⁽⁶⁾. Tradicionalmente, también se opta por simular de manera estacionaria este ruido, es decir, asumiendo que la desviación estándar del ruido es homogénea independientemente de la región de la imagen, y muestreando las intensidades del ruido de fondo empleando distribuciones teóricas aceptadas por la literatura⁽⁷⁾. No obstante, estas metodologías no contemplan la naturaleza no estacionaria, en la que píxeles con intensidades similares tienden a agruparse en cúmulos, del ruido en IRM. Esto conlleva cierta inconsistencia entre el fondo y las estructuras anatómicas, o entre diferentes secciones del propio fondo.

En las ciencias de la tierra, o la cosmología, se encuentran problemas similares a este, en el que se pretende modelar el comportamiento no estacionario de un fenómeno, como la formación de depósitos de minerales⁽⁸⁾ o fluctuaciones en el fondo cósmico de microondas⁽⁹⁾. Sin antecedentes, se pretende aplicar el mismo modelo estadístico utilizado por estas otras ciencias para el modelado no estacionario del ruido de fondo en las IRM.

Se propone entonces un método ciego de estimación de ruido de fondo en IRM mediante el uso de variogramas empíricos, que, a partir de los datos, capturan las características no estacionarias de este ruido, para la estimación de Campos Aleatorios Gaussianos (*Gaussian Random Fields*, GRF), capaces de generar volúmenes de ruido coherentes e ilimitados. Este proceso facilita la estandarización de la resolución de las imágenes, además de presentar un potencial relevante para la aumentación de datos en problemas de aprendizaje profundo.

MARCO TEÓRICO

La Resonancia Magnética (RM) puede verse afectada por diversos artefactos que degradan la calidad de la imagen final, como las limitaciones del hardware, la duración del escaneado, el movimiento del paciente y, en última instancia, el ruido acústico generado por la propia máquina ⁽¹⁰⁾. No obstante, en este estudio el término “ruido” se restringe de forma específica al ruido térmico introducido durante la adquisición de datos, comúnmente denominado ruido de Johnson-Nyquist ⁽¹¹⁾.

La principal fuente de este ruido térmico en la mayoría de los estudios de RM se atribuye al propio sujeto (paciente), seguida del ruido eléctrico que se produce en la cadena de adquisición, derivado del movimiento estocástico de los electrones libres en la bobina de radiofrecuencia ⁽¹²⁾. Además de comprometer la calidad de la imagen para el diagnóstico clínico, este tipo de interferencia repercute en diversas fases del procesamiento de datos, como el registro y la segmentación, así como en el análisis de fMRI y en la estimación de parámetros relacionados con la difusión, la perfusión o la relaxometría.

Aunque se han planteado modelos físicos fundamentados en la naturaleza intrínseca del ruido térmico, su elevada complejidad ha limitado el alcance de los hallazgos ⁽¹³⁾. Considerando la relevante cantidad de información que puede extraerse de las imágenes de RM y el carácter aleatorio del ruido, la construcción de modelos probabilísticos representa una aproximación sólida para afrontar esta problemática.

La Imagen por Resonancia Magnética paralela (pIRM) surge por la necesidad de agilizar el proceso de adquisición de los estudios de RM. Dado que las bobinas receptoras captan la misma imagen cada una, se decidió reducir esta redundancia en los datos, de tal forma que cada bobina registra una porción del k-espacio, donde cada punto corresponde a un componente de frecuencia y espacio muestral, paralelizando el proceso de adquisición y reduciendo el tiempo de toma de estudios.

Dado que la frecuencia de muestreo es menor al doble de la máxima frecuencia presente en la señal, se produce una violación del criterio de Nyquist en el proceso de adquisición de la

imagen, cuya consecuencia directa es la generación una superposición de señales en el espacio de la imagen, produciendo artefactos significativos en la imagen final. Para corregirlo, se combinan las señales de cada bobina mediante algoritmos de reconstrucción específicos de pIRM (e.g. SENSE, GRAPPA, SMASH, etc.), los cuales aprovechan la redundancia de la información y los mapas de sensibilidad de las bobinas para restaurar correctamente la imagen.

Algunos estudios fundamentan sus procedimientos de modelado robusto del ruido de fondo en la información relativa al submuestreo del k-espacio o a los mapas de sensibilidad de las bobinas^(14,15,16). No obstante, en entornos clínicos, dichos parámetros suelen quedar fuera del alcance, pese a que, en estándares de imagen médica de uso extendido, como DICOM, existan etiquetas orientados a su registro⁽¹⁷⁾. En consecuencia, otros trabajos se centran en el modelado de ruido ciego, categoría a la que pertenece este estudio. Esta estrategia exige, sin embargo, asumir diversas simplificaciones y supuestos para poder producir buenos resultados, como asumir una alta relación señal-ruido (SNR)⁽¹⁸⁾, o asumir la distribución de intensidad del ruido⁽¹⁹⁾.

MATERIALES

Se ha utilizado un único volumen de RM tomado utilizando un pulso T1. El volumen consta de 200 imágenes con una resolución espacial de 512 píxeles por 512 píxeles. La vista utilizada para la segmentación de las partes anatómicas del paciente ha sido transversal.

El procesamiento de datos ha sido realizado utilizando Python 3.9.21, empleando un entorno virtual que utiliza, principalmente, las librerías de código mostradas en la **Tabla I**.

TABLA I. PRINCIPALES LIBRERÍAS DE PYTHON UTILIZADAS EN ESTE ESTUDIO.

Librería	Versión	Propósito	Fuente
gstoools	1.6.1	Implementación de variogramas, modelos de covarianza, campos aleatorios gaussianos	Müller et al. ⁽²⁰⁾
pynrrd	1.1.3	Apertura y tratamiento de archivos nrrd	Maarten Everts
numpy	2.0.2	Manipulación de volúmenes de datos	Harris et al. ⁽²¹⁾
Matplotlib	3.9.4	Generación de visualizaciones	Hunter John D. ⁽²²⁾

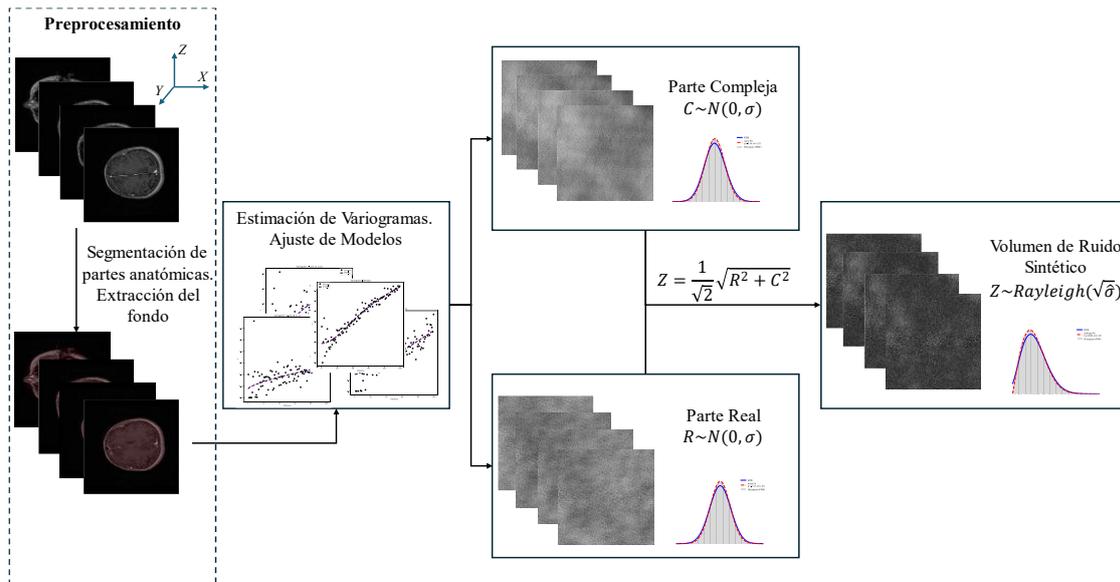


Figura 1. Flujo de trabajo para la generación de ruido sintético de fondo. En relación con el estudio de RM, el único parámetro de entrada es el volumen de imágenes obtenido del paciente.

MÉTODOS

A lo largo de esta sección se detallarán las bases teóricas y metodología aplicada durante el estudio.

PROPUESTA

La **Figura 1** muestra un resumen gráfico del flujo de trabajo empleado para conseguir el volumen de ruido. Las siguientes secciones incluyen una explicación detallada de cada paso de este flujo, con el fin de reflejar la metodología aplicada.

Preprocesamiento

Como se ha comentado anteriormente, esta metodología encaja dentro del paradigma de la estimación ciega de ruido, por lo que la principal entrada del algoritmo es el volumen de cortes del paciente.

Dado que nuestra región de interés está formada por los vóxeles de fondo, el primer paso de la metodología consiste en el segmentado de la región anatómica principal. Este proceso se realiza aplicando una umbralización por corte⁽²³⁾, aplicando operaciones de cierre morfológico a segmentos de la imagen para cerrar posibles inconsistencias pasadas por alto por la umbralización, y encontrando la componente conexa más grande de manera tridimensional, de tal forma que se asegura una coherencia de la máscara entre cortes.

Dado que no se tiene una segmentación previa de las regiones anatómicas realizada por un profesional clínico, no se tiene una forma de cuantificar la precisión de este método de

segmentación para este conjunto de datos concreto. Sin embargo, dada la naturaleza de estas regiones, su localización puede ser validada de manera visual, y es así como se ha realizado para este estudio.

El final de la etapa de preprocesamiento concluye con la obtención de una máscara volumétrica del estudio de RM del paciente, correspondiente a la región anatómica principal, aislando con éxito los vóxeles correspondientes al ruido de fondo.

Modelización de las características no estacionarias del ruido

El enfoque novedoso del estudio se basa en el empleo de variogramas empíricos para un modelado realista de las características no estacionarias del ruido de Johnson-Nyquist en las IRM. Un variograma es una función que describe la variabilidad promedio de una variable aleatoria en función de la distancia entre estas. Se tiene un volumen de RM en el que se denota el valor de intensidad un vóxel en la posición x_i como $I(x_i)$. Examinando vóxeles a una distancia h en cualquier dirección (i.e., de manera isotrópica), donde el número total de pares de vóxeles a esa distancia se define como $P(h)$, se puede calcular el valor del variograma a esa determinada distancia h como:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \times \sum_{x_i, x_j \in P(h)} (I(x_i) - I(x_j))^2,$$

De manera intuitiva, $\gamma(h)$ promedia la diferencia de las intensidades de vóxeles de una muestra de tamaño $N(h)$ separados por una distancia h . El valor de $\gamma(h)$ será cercano a cero cuando las intensidades sean similares, indicando una correlación entre vóxeles a esa distancia en el volumen. A medida que h crece, el comportamiento natural del variograma será reflejar un decaimiento suave de la correlación entre intensidades.

Sin embargo, el variograma empírico, aunque caracterice la dependencia entre las intensidades de vóxeles, solo lo hace a unos determinados valores discretos de h . Para poder reflejar este comportamiento empírico en un modelo teórico continuo, se realiza un ajuste de modelos de covarianza a este variograma, con la finalidad de obtener una representación matemáticamente válida de la dependencia espacial. Este paso es también necesario dado que los GRF, descritos en la próxima sección y responsables de la generación de los volúmenes de ruido finales, requieren una función de covarianza que cumpla las condiciones de positividad definida y que describa la correlación en todas las distancias, no solamente en aquellos valores discretos medidos en el variograma empírico.

Hay diversos modelos de covarianza propuestos en la literatura, sin embargo, dado que el cómputo del ajuste puede ser exhaustivo, se ha decidido reducir la búsqueda del mejor

modelo de covarianza ajustado al variograma empírico a los mostrados en la **Tabla II**. Estos modelos han demostrado obtener un mejor ajuste estadístico (r^2) a los variogramas empíricos obtenidos en diversas pruebas.

TABLA II. MODELOS DE CORRELACIÓN EXPLORADOS A LA HORA DE ENCONTRAR EL MEJOR AJUSTE ESTADÍSTICO A LOS VARIOGRAMAS ESTIMADOS CON EL VOLUMEN DE RESONANCIA MAGNÉTICA.

Modelo	Correlación (h)	Fuente
Gaussian	$\exp(-h^2)$	Webster & Oliver ⁽²⁴⁾
Exponential	$\exp(-h)$	Webster & Oliver ⁽²⁴⁾
Stable	$\exp(-h^\alpha)$	Wackernagel ⁽²⁵⁾
Matern	$\frac{2^{1-\nu}}{\Gamma(\nu)} \times (\sqrt{\nu} \times h)^\nu K_\nu(\sqrt{\nu} \times h)$	Rasmussen et al. ⁽²⁶⁾
Rational	$\left(1 + \frac{h^2}{\alpha}\right)^{-\alpha}$	Rasmussen et al. ⁽²⁶⁾
Circular	$\frac{2}{\pi} \times \left(\cos^{-1}(h) - h \times \sqrt{1 - h^2}\right), \forall h < 1$	Webster & Oliver ⁽²⁴⁾
Spherical	$\left(1 - \frac{3}{2} \times h + \frac{1}{2} \times h^3\right), \forall h < 1$	Webster & Oliver ⁽²⁴⁾
JBessel	$\Gamma(\nu + 1) \times \left(\frac{h}{2}\right)^{-\nu} \times J_\nu(h)$	Chilès & Delfiner ⁽²⁷⁾
TLP-Gaussian	$H \times E_{1+H}(h^2)$	Di Federico & Neuman ⁽²⁸⁾
TLP-Simple	$(1 - h)^\nu, \forall h < 1$	Wendland ⁽²⁹⁾
TLP-Stable	$\frac{2H}{\alpha} \times E_{1+\frac{2H}{\alpha}}(h)$	Müller et al. ⁽³⁰⁾

Generación del volumen de ruido final

Un GRF es una generación multidimensional de la noción de variable aleatoria que sigue una distribución gaussiana o normal. Si se tiene un dominio X , que podría representar el volumen de ruido obtenido, y se define un campo aleatorio sobre el dominio, $Z(X)$, entonces, cada conjunto de puntos dentro de este dominio, $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ produce un vector de variables aleatorias $\{Z(x_1), Z(x_2), \dots, Z(x_n)\}$, que siguen una distribución normal multivariada:

$$\begin{pmatrix} Z(x_1) \\ Z(x_2) \\ \vdots \\ Z(x_n) \end{pmatrix} \sim N(\mu, \Sigma)$$

Donde μ es la media de la distribución, y Σ es la matriz de covarianza de cada elemento, es decir, el modelo de covarianza ajustado al variograma empírico estimado a partir de los vóxeles de ruido del estudio de RM.

La distribución de Rice es el modelo teórico más adecuado para describir las intensidades de las imágenes de RM, ya que surge de combinar, mediante la operación de módulo, dos variables gaussianas en presencia de una señal subyacente. Estas dos variables representan la componente real (R) e imaginaria (C) de la señal captada por las bobinas receptoras, mientras que la señal subyacente corresponde a la anatomía del paciente. Si dicha señal subyacente se eliminase, manteniendo únicamente el ruido gaussiano en cada componente, la operación de módulo conduciría a una distribución de Rayleigh, formalizada como:

$$Z = \sqrt{R^2 + C^2} \Rightarrow Z \sim \text{Rayleigh}(\sigma)$$

donde

$$X \sim N(0, \sigma), \quad Y \sim N(0, \sigma)$$

Dado este razonamiento teórico, se puede aprovechar el modelo de covarianza estimado para generar dos GRF volumétricos, que corresponderían a la parte real e imaginaria, sin la señal subyacente del paciente, haciendo que la combinación de estas componentes dé lugar a una distribución de Rayleigh. Este flujo de trabajo modelaría tanto las características no estacionarias del ruido de fondo, codificadas en el modelo de covarianza, como las intensidades finales de los píxeles, dadas por las distribuciones obtenidas.

VALIDACIÓN

La similitud entre el ruido sintético generado mediante campos aleatorios gaussianos (GRF) y el ruido de fondo real del estudio se cuantificará usando la divergencia de Jensen–Shannon (JS). Esta medida, simétrica, y definida como

$$JS(P \parallel Q) = \frac{1}{2} D_{KL}(P \parallel M) + \frac{1}{2} D_{KL}(Q \parallel M),$$

donde M es la distribución mixta, definida como

$$M = \frac{1}{2}(P + Q),$$

y D_{KL} es la divergencia de Kullback-Leibler, o entropía relativa, definida como

$$D_{KL}(P \parallel Q) = \sum_i P(i) \times \ln\left(\frac{P(i)}{Q(i)}\right)$$

proporciona una estimación de la similitud entre dos distribuciones de probabilidad P y Q . Dado que el ruido generado conservará la misma profundidad que el volumen original, se efectuará una comparación corte a corte entre las funciones de densidad de probabilidad

(PDF) de las intensidades del ruido sintético y las del ruido de fondo real corte a corte. Para estimar dichas PDF, se utilizarán dos aproximaciones:

- I. **Estimación teórica.** Como se ha argumentado, el ruido de fondo en resonancia magnética en ausencia de señal subyacente se describe con una distribución de Rayleigh. Por tanto, se ajustarán los parámetros de Rayleigh tanto a los datos del ruido real como a los del ruido generado y se obtendrán sus PDF. Una vez calculadas, se compararán a través de la JS.
- II. **Estimación empírica.** Se aplicará el método de estimación de densidad mediante núcleos (KDE), concretamente la ventana de Parzen–Rosenblatt, para aproximar la PDF de los valores de intensidad. La fórmula general de la KDE unidimensional es:

$$\hat{f}(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^n K\left(\frac{x - x_i}{h}\right),$$

donde $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ son los valores de intensidad, h es el ancho de banda, que determina la suavidad de la PDF estimada, y $K(\cdot)$ es la función kernel, en este caso, una función gaussiana. La intuición detrás de esta estimación es aplicar un filtro paso bajo ($K(\cdot)$) al histograma de intensidades de una imagen, haciendo que pase al plano continuo, pero, dependiendo de la agresividad del filtro (h), perdiendo información. Este método converge a la densidad verdadera conforme crece el número de muestras, permitiendo una estimación flexible de la PDF sin asumir una forma paramétrica específica, a diferencia del acercamiento teórico.

Finalmente, la comparación entre la distribución teórica (Rayleigh) y la estimación empírica (KDE) para el ruido real y el sintetizado permitirá evaluar, mediante la JS, la similitud de intensidades obtenida al aplicar la metodología propuesta.

RESULTADOS

Esta sección está dedicada a la presentación de los resultados de cada etapa del procesamiento definido en la anterior sección.

La **Figura 2** muestra el variograma empírico calculado a partir del volumen de resonancia magnética (RM) T1. Se observa que $\gamma(h)$ incrementa con rapidez en valores de h reducidos y, a partir de aproximadamente $h \approx 20$ vóxeles, el incremento pasa a ser más paulatino y lineal. Este comportamiento sugiere la presencia de agrupamientos de ruido en torno a un tamaño de 20 vóxeles. Además, el modelo de covarianza que mejor se ajusta a los datos es Matérn, alcanzando un coeficiente de determinación $r^2 = 0.97$. Este elevado ajuste

estadístico indica que el variograma estimado responde adecuadamente a los criterios de suavidad definidos por los modelos de covarianza.

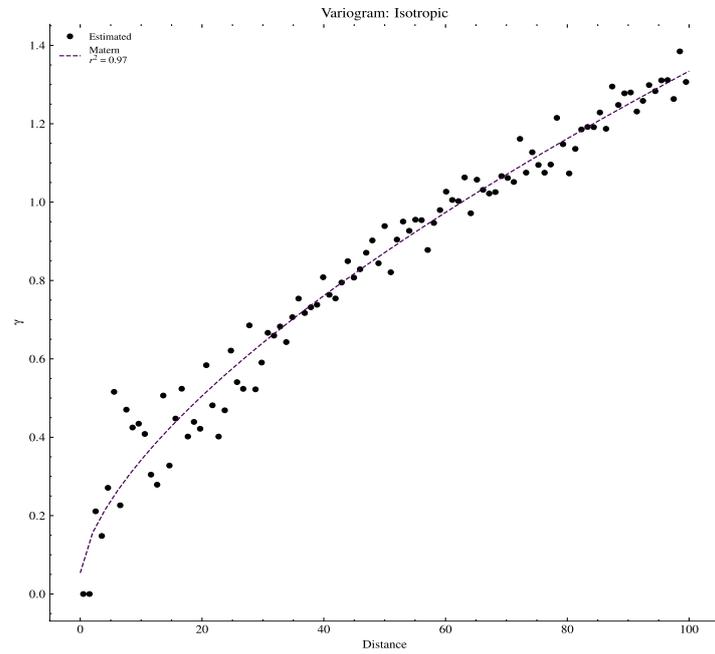


Figura 2. Estimación de variograma empírico a partir de los datos volumétricos del estudio. Cada punto representa un valor discreto de distancia entre vóxeles, h , en la que se ha evaluado la función $\gamma(h)$. El mejor modelo de covarianza ajustado es Matern, con un ajuste estadístico de $r^2 = 0.97$

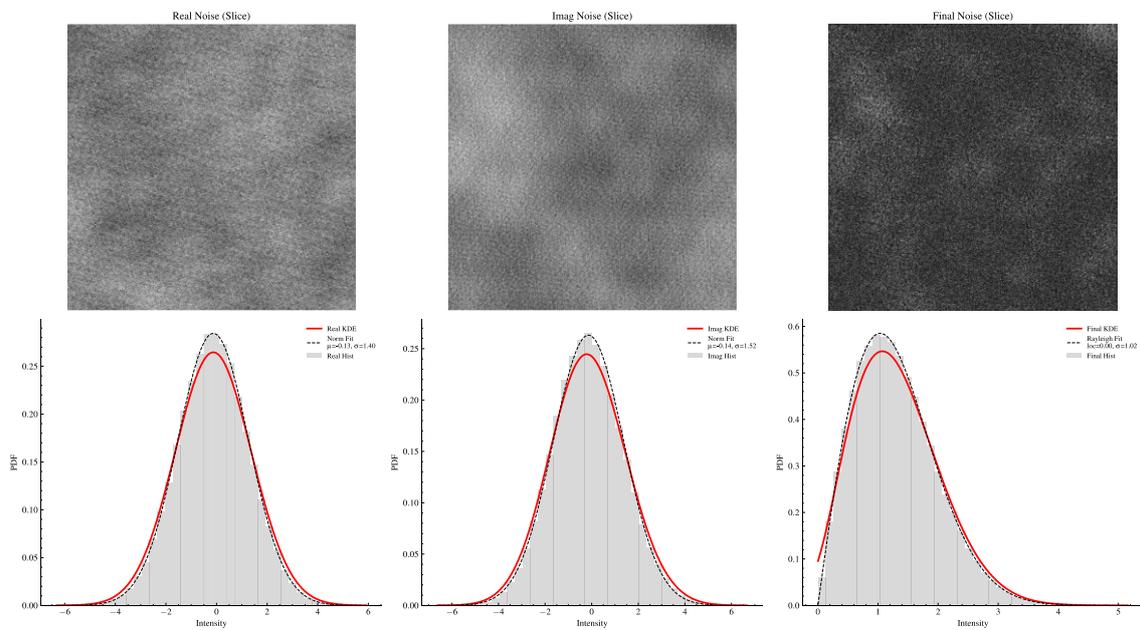


Figura 3. Comparativa visual de un corte de ruido dentro del volumen sintético generado, incluyendo la estimación de sus funciones de densidad de probabilidad mediante un ajuste teórico y empírico.

La **Figura 3** presenta una comparación visual directa de uno de los cortes de ruido extraídos del volumen de ruido sintético generado. En la segunda fila se ilustran las funciones de densidad de probabilidad (PDF) estimadas mediante un método empírico (trazado en rojo) y un método de ajuste teórico (representado con línea gris discontinua). Se aprecia que las componentes real e imaginaria del ruido simulado siguen, de forma aproximada, una distribución gaussiana con media cercana a cero y una desviación estándar compartida, en concordancia con el modelo teórico planteado. De forma adicional, se observa que el corte de ruido simulado se ajusta adecuadamente a una distribución de Rayleigh, con un parámetro de escala (“*scale parameter*”) comprendido en los valores esperados para este tipo de estudios de RM.

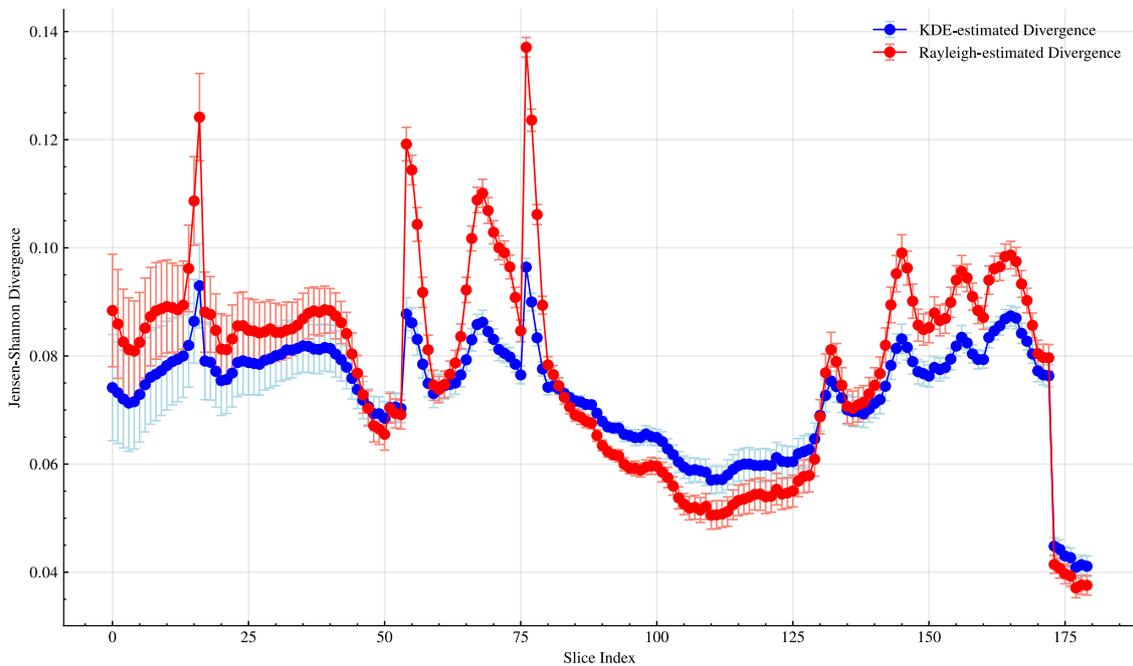


Figura 4. Evolución de la divergencia de Jensen-Shannon para las PDF a través de un estudio completo de RM T1. Se muestra la serie de datos correspondiente a la estimación teórica de la PDF (en rojo), y la correspondiente a la estimación empírica (en azul).

Para un estudio completo de RM con pulso T1 como entrada, la **Figura 4** recoge los valores de la divergencia de Jensen–Shannon obtenidos en tres generaciones distintas del volumen de ruido, donde la variación principal radica en la semilla utilizada en cada iteración. Los resultados varían en un intervalo comprendido entre 0.02 y 0.14, lo que refleja una alta similitud entre el ruido sintético y el ruido de fondo real. Asimismo, se observan fluctuaciones de menor magnitud que podrían atribuirse a la posición del corte dentro del volumen, lo cual sugiere cierta correlación entre la altura del corte y la calidad del ruido simulado. Esta dependencia podría asociarse a la precisión de la máscara de segmentación empleada o al

número de muestras utilizadas para ajustar los modelos. En general, tanto el ajuste teórico como el empírico exhiben un comportamiento equiparable, lo que refuerza la validez de la metodología implementada en el algoritmo.

En la **Figura 5** se presentan diversos cortes seleccionados a lo largo del estudio de RM T1 empleado para la obtención de resultados. La separación espacial de dichos cortes es suficientemente amplia como para reflejar cambios morfológicos apreciables, al tiempo que la máscara de segmentación implementada delimita con precisión la región anatómica, excluyendo los píxeles que no forman parte del ruido de fondo. Los valores de la divergencia de Jensen–Shannon obtenidos en estos cortes se mantienen en el rango observado en la Figura 4, confirmando la elevada similitud entre el ruido generado y el ruido original. Este hecho puede corroborarse visualmente a través de las PDF representadas, que muestran un alto grado de concordancia entre ambas distribuciones.

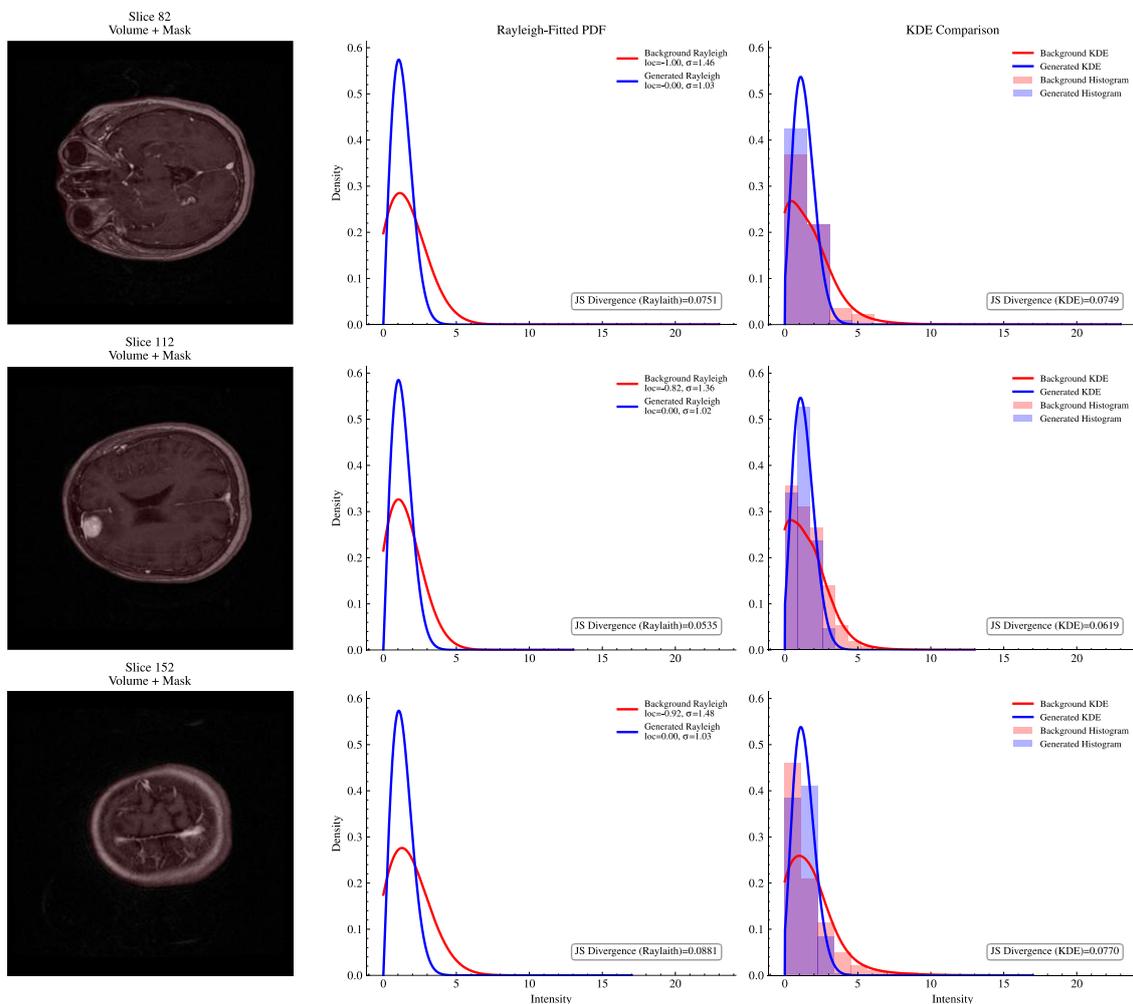


Figura 5. Selección de cortes específicos dentro del volumen de entrada, y comparativa de las PDF estimadas mediante un análisis cualitativo visual, y cuantitativo mediante la divergencia de Jensen–Shannon (JS). La primera columna muestra los cortes elegidos, acompañados de las máscaras de segmentación superpuestas en rojo. La segunda columna corresponde a una estimación teórica de la PDF, mientras que la última, a una estimación empírica. Los datos del volumen original se muestran en rojo, mientras que los del ruido sintético, en azul.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos evidencian un rendimiento positivo: la distribución de probabilidad de las intensidades del ruido sintético coincide con la distribución teórica esperada y, al comparar el ruido de fondo original con el generado, la divergencia de Jensen–Shannon arroja valores reducidos. A pesar de demostrar el potencial de los campos aleatorios gaussianos (GRF) para la estimación ciega de ruido en estudios clínicos de RM, permanecen diversas cuestiones por explorar:

- Aún no se ha implementado una validación que contraste las características morfológicas de los cúmulos de ruido originales frente a los sintéticos, dejando sin evaluar la similitud de las propiedades espaciales no estacionarias.
- Los modelos de covarianza empleados pueden no generar campos aleatorios gaussianos capaces de reproducir patrones de ruido no estacionario, lo que enlaza con la necesidad de validar en mayor detalle la metodología.
- La discrepancia en la probabilidad de aparición de valores nulos podría tener su origen en procesos de posprocesamiento llevados a cabo por la propia máquina de RM.

Estos aspectos deben abordarse para completar la validación del método y afinar futuros ajustes. Asimismo, se plantean diversas líneas de investigación orientadas a:

- Incorporar la metodología en otras modalidades de RM (T2, T1SIN, susceptibilidad magnética, etc.).
- Evaluar el impacto de la propuesta en RNC aplicadas a tareas de segmentación, al emplear el ruido sintetizado como parte del preprocesamiento de los conjuntos de datos.

CONCLUSIONES

La metodología de estimación de ruido ciego en estudios de RM basada en GRF para generar ruido sintético se ha mostrado fiable en términos de concordancia estadística, tal como demuestran los valores mínimos de divergencia de Jensen–Shannon y la coincidencia entre las PDF teóricas y las observadas. Este resultado respalda la viabilidad de la aproximación propuesta para la estimación ciega de ruido y sienta las bases de un enfoque robusto que facilita la introducción de ruido coherente en el procesamiento de imágenes médicas.

Aun así, la consolidación de este procedimiento requiere validar exhaustivamente los patrones morfológicos y la no estacionariedad del ruido simulado, así como extender el método a diferentes secuencias de RM y a flujos de trabajo con redes neuronales profundas.

Resolver estos desafíos reforzará la aplicabilidad de los GRF como herramienta de caracterización y generación de ruido en un amplio abanico de contextos clínicos y de investigación, permitiendo un mejor control y comprensión de la variabilidad en las imágenes de RM, finalmente mejorando los resultados de la aplicación de técnicas computacionales a conjuntos de imágenes clínicas y el rendimiento de modelos de aprendizaje profundo entrenados con estas imágenes.

BIBLIOGRAFÍA

1. Li Z, Liu F, Yang W, Pen S, Zhou J. A Survey of Convolutional Neural Networks: Analysis, Applications, and Prospects. *IEEE Trans Neural Netw Learn Syst.* 2022;33(12):6999-7019. <https://doi.org/10.1109/TNNLS.2021.3084827>
2. Gurunathan A, Krishnan. Detection and diagnosis of brain tumors using deep learning convolutional neural networks. *Int J Imaging Syst Technol.* 2021;31(3):1174-84. <https://doi.org/10.1002/ima.22532>
3. Amin J, Sharif M, Almas Anjum M, Raza M, Admad S. Convolutional neural network with batch normalization for glioma and stroke lesion detection using MRI. *Cogn Syst Res.* 2020;59:304-11. <http://dx.doi.org/10.1016/j.cogsys.2019.10.002>
4. Díaz Pernas FJ, Martínez-Zarzuela M, Antón-Rodríguez M, González Ortega D. A Deep Learning Approach for Brain Tumor Classification and Segmentation Using a Multiscale Convolutional Neural Network. *Healthcare.* 2021;9:153. <https://doi.org/10.3390/healthcare9020153>
5. Rani Sharma S, Ibrahim Alshathri S, Singh B, Kaur M, R. Mostafa R, El-shafai W. Hybrid Multilevel Thresholding Image Segmentation Approach for Brain MRI. *Diagnostics.* 2023;13(5):925. <https://doi.org/10.3390/diagnostics13050925>
6. A. Dawood T, T. Hashim A, Raouf Nasser A. Automatic Skull Stripping of MRI Head Images Based on Adaptive Gamma Transform. *Math Model Eng Probl.* 2023;10(1):304-10. <https://doi.org/10.18280/mmep.100136>
7. Gudbjartsson H, Patz S. The Rician distribution of noisy MRI data. *Magn Reson Med.* 1995;34(6):910-4. <https://doi.org/10.1002/mrm.1910340618>
8. Buelga Díaz A, Castañón Fernández C, Ares G, Prieto DA, Álvarez ID. RecMin Variograms: Visualisation and Three-Dimensional Calculation of Variograms in Block Modelling Applications in Geology and Mining. *Int J Environ Res Public Health.* 2022;19(19):12454. <https://doi.org/10.3390/ijerph191912454>
9. Cayon L. Variograms of the cosmic microwave background temperature fluctuations: confirmation of deviations from statistical isotropy. *Mon Not R Astron Soc.* 2010;405(2):1084-9. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2966.2010.16512.x>
10. Parry A, Haseeb Wani A, Momin Jan A, Admad T, Gojwari T, Momin A. Artefacts in magnetic resonance imaging (MRI) and their remedies. *Int Arch Integr Med.*

2019;6(4):122-130. Disponible en:

https://www.iaimjournal.com/storage/2019/04/iaim_2019_0604_20.pdf

11. Aja-Fernández S, Vegas-Sánchez-Ferrero G. The Problem of Noise in MRI. En: Aja-Fernández S, Vegas-Sánchez-Ferrero G, editores. *Statistical Analysis of Noise in MRI*. Cham: Springer; 2016. p. 1-6. https://doi.org/10.1007/978-3-319-39934-8_1
12. Jezzard P, LeBihan D, Cuenod C, Pannier L, Prinser A, Turner R. An investigation of the contribution of physiological noise in human functional MRI studies at 1.5 Tesla and 4 Tesla. En: *Proceedings of the 12th Annual Meeting of the Society of Magnetic Resonance in Medicine*; 1993 Ago 14-20; Nueva York, EE. UU. Berkeley (CA): SMRM; 1993. p. 1392.
13. Hennessy MJ. A Three-Dimensional Physical Model of MRI Noise Based on Current Noise Sources in a Conductor. *J Magn Reson*. 2000;147(2):153-69. <https://doi.org/10.1006/jmre.2000.2034>
14. Aja-Fernández S, Brion V, Tristán-Vega A. Effective noise estimation and filtering from correlated multiple-coil MR data. *Magn Reson Imaging*. 2013;31(2):272-85. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2012.07.006>
15. Samsonov AA, Johnson CR. Noise-adaptive nonlinear diffusion filtering of MR images with spatially varying noise levels. *Magn Reson Med*. 2004;52(4):798-806. <https://doi.org/10.1002/mrm.20207>
16. Aja-Fernández S, Vegas-Sánchez-Ferrero G, Tristán-Vega A. Noise estimation in parallel MRI: GRAPPA and SENSE. *Magn Reson Imaging*. 2014;32(3):281-90. <https://doi.org/10.1016/j.mri.2013.12.001>
17. 12052 NP/I. National Electrical Manufacturers Association (NEMA). *Digital Imaging and Communications in Medicine (DICOM) Standard*. Rosslyn, VA: NEMA; 2024 [citado 4 de febrero de 2025]. Disponible en: <http://www.dicomstandard.org/>
18. Aja-Fernández S, Vegas-Sánchez-Ferrero G. Blind estimation of spatially variant noise in GRAPPA MRI. En: *Proceedings of the IEEE 12th International Symposium on Biomedical Imaging (ISBI)*; 2015 Apr 16-19; Brooklyn, NY, USA. Nueva York: IEEE; 2015. p. 556-560. <https://doi.org/10.1109/ISBI.2015.716393>
19. Aja-Fernández S, Pięciak T, Vegas-Sánchez-Ferrero G. Spatially variant noise estimation in MRI: a homomorphic approach. *Med Image Anal*. 2015;20(1):184-97. <https://doi.org/10.1016/j.media.2014.11.005>
20. Müller S, Schüller L, Zech A, Heße F. GSTools v1.3: A toolbox for geostatistical modelling in Python. *Geosci Model Dev*. 2022;15(7):3161-82. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-3161-2022>
21. Harris CR, Millman KJ, van der Walt SJ, Gommers R, Virtanen P, Cournapeau D, et al. Array programming with NumPy. *Nature*. 2020;585(7825):357-362. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2649-2>

22. Hunter JD. Matplotlib: A 2D graphics environment: *Comput Sci Eng.* 2007;9(3):90-5. <https://doi.org/10.1109/MCSE.2007.55>
23. Li CH, Lee CK. Minimum cross entropy thresholding. *Pattern Recognit.* 1993;26(4):617-25. [https://doi.org/10.1016/0031-3203\(93\)90115-D](https://doi.org/10.1016/0031-3203(93)90115-D)
24. Webster R, Oliver MA. *Geostatistics for Environmental Scientists*: 2^a ed. Chichester: John Wiley & Sons; 2007. <https://doi.org/10.1002/9780470517277>
25. Wackernagel H. *Multivariate Geostatistics: An Introduction with Applications*. 3^a ed. Berlin: Springer-Verlag; 2003. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-05294-5>
26. Rasmussen CE, Williams CKI. *Gaussian Processes for Machine Learning*. Cambridge, MA: MIT Press; 2006. <https://doi.org/10.7551/mitpress/3206.001.0001>
27. Chilès JP, Delfiner P. *Geostatistics: Modeling Spatial Uncertainty*. 2^a ed. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons; 2012. <https://doi.org/10.1002/9781118136188>
28. Di Federico V, Neuman SP. Scaling of random fields by means of truncated power variograms and associated spectra. *Water Resour Res.* 1997;33(5):1075-85. <https://doi.org/10.1029/97WR00299>
29. Wendland H. Piecewise polynomial, positive definite and compactly supported radial functions of minimal degree. *Adv Comput Math.* 1995;4:389-96. <https://doi.org/10.1007/BF02123482>
30. Müller S, Heße F, Attinger S, Zech A. The extended generalized radial flow model and effective conductivity for truncated power law variograms. *Adv Water Resour.* 2021;156:104027. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2021.104027>

COMPARACIÓN DE LA DOSIS DE RADIACIÓN EN ESTUDIOS DE ANGIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CORONARIA ENTRE TC HELICOIDAL MULTICORTE Y TC DE ENERGÍA DUAL

Juan Carlos Sánchez Moreno¹, Juana María Plasencia Martínez², Fernando Canales Melgarejo³, José Alberto Munuera Flores¹, José María García Santos²

¹Estudiante del Grado de Medicina. Facultad de Medicina. Universidad de Murcia; ²Servicio de Radiología. Hospital Universitario Morales Meseguer; ³Sistema Regional de Gestión de Dosis. Siemens Healthineers
jc.sanchezmoreno@um.es; plasen79@gmail.com; fernando.canales_melgarejo.ext@siemens-healthineers.com; josealberto.munueraf@um.es; josem.garcia11@carm.es

RESUMEN

La angiotomografía computarizada coronaria (ATCC) está consolidada como alternativa diagnóstica no invasiva a la angiografía coronaria. No obstante, reducir la dosis de radiación que conlleva sigue siendo prioritario. Nuestro objetivo es comprobar si se ha conseguido en nuestro entorno con las nuevas TC de energía dual (TCED). Para ello, se han seleccionado pacientes del área VI de salud de la Región de Murcia sometidos a ATCC en octubre 2018-2019 mediante antigua TC helicoidal multicorte (TCHM, n=47), y octubre 2023-2024 mediante nuevas TCED (n=368). La dosis de radiación, medida mediante el producto dosis-longitud (DLP, mGy.cm), fue menor en el grupo valorado por TCED que en el valorado por TCHM, tanto en estudios de ATCC (268[142-525] frente a 582[540-652], $p<0,001$) como en estudios de cuantificación de calcio coronario (74[64-85] frente a 87[87-101], $p=0,003$). Variables como el índice de masa corporal, la longitud de barrido o el centraje no explicarían esas diferencias ($p>0,05$).

INTRODUCCIÓN

La tomografía computarizada (TC) es una de las técnicas de diagnóstico más utilizadas por su versatilidad, obtención de imágenes tridimensionales y amplia gama de aplicaciones¹. En el año 1968, Godfrey Hounsfield sería el primero en realizar un experimento con un equipo de TC, una modalidad de rayos X que permitiría obtener imágenes en secciones transversales². Para la obtención de estas secciones, el tubo de rayos X realiza una rotación completa alrededor del paciente. La suma de varias secciones transversales de una zona de interés clínico da lugar a una exploración completa de TC¹.

Sería en el año 1971 cuando la tomografía computarizada se introdujera en la práctica clínica. Hasta el año 1989, había que desplazar manualmente la camilla después de cada sección transversal para completar el estudio. Sin embargo, se desarrollaron escáneres con capacidad de rotación continua mientras la camilla se desplazaba simultáneamente, a los que se denominó TC helicoidales. De esta manera se acortaba el tiempo del estudio y posibilitaba la obtención de un gran volumen de datos¹. Con el paso de los años, se fue modificando el diseño del detector, añadiendo varias filas de detectores para evitar la limitación que suponía el ancho del haz de rayos X³. Así se fueron introduciendo las TC multicorte. Estos sistemas supusieron un gran avance porque la adquisición simultánea de varias secciones transversales posibilitaba la obtención de espesores de corte por debajo de 1 mm. El número de filas de detectores aumentó rápidamente hasta 64 y el tiempo de rotación se redujo desde 1-2 segundos hasta valores de 0,3-0,4 segundos¹.

A pesar de estos desarrollos, persistía la limitación para la discriminación tisular de diferentes tejidos cuyo coeficiente de atenuación se solapaba. El coeficiente de atenuación de un material, representado en unidades Hounsfield (UH), se obtiene de la medida de radiación que logra llegar a los detectores después de atravesar los tejidos. Depende, a parte del número atómico (Z) y la densidad (ρ) del material interpuesto, de la energía empleada (E) por parte del equipo. La atenuación del haz de rayos X es causada por la interacción de los fotones emitidos con el material que atraviesan, de manera que no logran alcanzar el detector. Destacan dos tipos de interacciones: el efecto fotoeléctrico y el efecto Compton. El efecto fotoeléctrico consiste en la emisión de electrones por parte del material debido a la colisión de un fotón que desplaza al electrón de su orbital, quedando el fotón absorbido. Este efecto se produce principalmente a energías bajas, y presenta una relación directamente proporcional con el número atómico del tejido. Por lo tanto, se deduce que el coeficiente de atenuación de un tejido depende de la energía del haz de rayos X^{4,5}.

Con esta premisa, en 2006 se implementó el primer equipo de TC de energía dual (TCED), por el que un tejido se puede escanear mediante dos energías diferentes. Su mayor resolución energética permitiría diferenciar los coeficientes de atenuación de los materiales a distintas energías⁴. Existen diferentes sistemas que utilizan los principios de la energía dual: el sistema de doble fuente, formado por dos tubos que emplean energías diferentes; el sistema de conmutación rápida del kilovoltaje, formado por un único tubo que dispara de forma alternante alta y baja energía; el sistema de fuente única con filtro, que permite dividir el haz en dos energías diferentes simultáneamente; y el sistema de fuente única con detector multicapa, en la que cada capa es sensible a un tipo de energía distinta^{4,5}.

En definitiva, las TC modernas en nuestros centros están representados en su mayoría por equipos con una adquisición helicoidal multidetector de los datos, con posibilidad de uso de doble energía.

Muchos estudios han demostrado beneficios clínicos evidentes de la TCED en la identificación de litiasis renoureterales, la detección y caracterización de neoplasias, la evaluación de la perfusión miocárdica, la valoración de la perfusión y ventilación pulmonar, la reconstrucción en estudios angiográficos con dosis limitada de contraste, entre otros⁶. El uso de la TCED permite numerosas ventajas, entre las que se pueden destacar las siguientes aplicaciones de posprocesamiento:

- Imágenes monoenergéticas virtuales: simulación de imágenes esperadas si el paciente se hubiera sometido a una TC de energía única a partir de sistemas de energía dual. Esta aplicación mejora la calidad de la imagen al aumentar el contraste por el efecto fotoeléctrico y ayuda a reducir la dosis de contraste^{5,7}. Estudios de Mangold et al. y Rotzinger et al. demuestran que este método también puede reducir las dosis de radiación preservando la calidad de imagen diagnóstica⁷.
- Imágenes virtuales sin contraste: simulación que reconstruye, mediante la supresión de la señal de yodo, una imagen similar a que se obtendría en un estudio de TC sin contraste. Como se reemplaza la exploración previa al contraste, se reduce el número de estudios adicionales, disminuyendo por tanto la exposición a la radiación. El estudio de Chen et al. demostraba que al no realizar un examen previo al estudio con contraste en equipos de TCED se producía una reducción del 56,4% de la dosis de radiación⁸.

Todos estos avances en la tomografía computarizada han supuesto un punto de inflexión en la obtención imágenes cardiacas a través de métodos no invasivos. A pesar de que la angiografía coronaria sea la técnica gold standard para el diagnóstico de enfermedad coronaria⁹, la angiotomografía computarizada coronaria se ha convertido en una poderosa alternativa con la llegada de los equipos de TC con detector de múltiples filas y TCED¹⁰, siendo las imágenes obtenidas cada vez más comparables con el estándar de referencia gracias a la mejora que ofrecen en resolución temporal y espacial⁹.

Además, los equipos de TC con detector de múltiples filas permiten realizar una cuantificación de calcio coronario. La cuantificación de calcio coronario permite calcular el riesgo de evento cardiovascular, ya que detecta las placas calcificadas que se encuentran en las arterias coronarias. Como el coeficiente de atenuación del calcio es alto, se puede

visualizar fácilmente incluso con un fondo ruidoso, por lo que se puede reducir la energía del haz de rayos X, ocasionando a su vez una dosis de radiación menor⁹.

Las pruebas de imagen cardíaca siempre han supuesto un desafío para la obtención de datos simultánea⁷. La principal limitación a la hora de obtener imágenes cardíacas es el latido constante propio del corazón. Como no es posible detener el corazón, se escogió la fase diastólica como la parte del ciclo cardíaco con las condiciones más idóneas para la obtención de imágenes. Para ello, es necesario monitorizar al paciente mediante un electrocardiograma (ECG) durante la exploración y adquirir las imágenes lo más rápido posible en el momento que la fase del ciclo cardíaco coincida con la diástole. Existen dos modos de adquisición de las imágenes del corazón⁹:

- **Retrospectiva:** procedimiento principal para los estudios de arterias coronarias, en el que se utilizan habitualmente equipos de TC helicoidal multicorte. Las imágenes de tomografía computarizada se adquieren de manera continua, al mismo tiempo que se registra el ECG del paciente. Con la información que se obtiene del ciclo cardíaco, se realiza una reconstrucción segmentada, en la que se eligen datos de varios ciclos cardíacos secuenciales para que la suma de todos ellos sean los mínimos necesarios para reconstruir la imagen. La ventaja de este método de adquisición es la mejora de la resolución temporal, ya que se seleccionan de manera apropiada aquellos datos más convenientes de los diferentes ciclos cardíacos. Sin embargo, presenta la desventaja de someter al paciente a una mayor dosis de radiación, ya que los datos se adquieren durante todo el ciclo cardíaco⁹.
- **Prospectiva:** procedimiento de adquisición “paso y disparo”, similar al resto de exploraciones convencionales por TC. El equipo, sincronizado con el ECG del paciente, inicia la exploración en un momento preestablecido del ciclo cardíaco y se obtiene una cantidad mínima de datos. A partir de un escaneo parcial, se realiza una reconstrucción de la imagen cardíaca con los datos obtenidos. Uno de los desafíos de este tipo de adquisición es la mejora de la resolución temporal, para lo que se necesita acelerar el tiempo de rotación del tubo de Rx. Con el desarrollo de equipos de TCED se ha podido abordar las limitaciones que suponía esta cuestión. Una vez obtenida la imagen de una proyección axial, la camilla va avanzando, repitiendo este mismo proceso, para adquirir las siguientes proyecciones y completar el estudio cardíaco. Debido a que los datos se adquieren en periodos más cortos respecto al ciclo cardíaco, se reduce la cantidad de radiación a la que se exponen los pacientes, lo que supone una ventaja de este método de adquisición⁹.

En la base de una TC está el concepto de que cada giro del tubo de Rx da lugar a una sección del cuerpo (proyección). Pero en el caso de la TC helicoidal, ese giro no se hace con la camilla quieta como en las primeras TC, para luego “saltar” a la siguiente posición, sino que el giro del tubo de Rx es continuo mientras la camilla se mueve a la vez. La relación entre la velocidad del desplazamiento de la camilla y el ancho del haz de rayos X se denomina pitch. Valores de pitch bajos implican mayor compresión de la hélice (el giro del tubo de Rx y el desplazamiento de la camilla producen una hélice de radiación en el espacio). Esto mejora la resolución temporal y espacial, pero con el coste de una dosis más alta de radiación. Este problema puede subsanarse aumentando del número de detectores en los equipos de TC, de manera que se cubra mayor cantidad de área cardíaca con menos rotaciones del tubo de Rx y, por tanto, menor tiempo de exposición a la radiación⁹. En nuestro caso, el paso de la antigua TC multidetector monoenergética a las nuevas TC de energía dual, supuso también pasar de 64 a 128 anillos de detectores.

Sin embargo, todos los avances realizados en el ámbito de pruebas diagnósticas por imagen siempre vienen acompañados de la preocupación por el uso de radiación ionizante que recibe el paciente. Por el contexto semántico, la denominación “dual” podría dar a entender una mayor exposición a la radiación en comparación con los estudios realizados por TC de energía única⁶.

Los primeros estudios comparativos sobre dosis de radiación utilizaban sistemas de doble fuente para comparar las dosis de radiación entre TCED y TC de energía única. Entre estos, un estudio realizado por Schenzle et al. demostraba que la exposición a la radiación en un sistema de doble fuente era igual en modo energía dual (2,69 mSv) que en modo energía única (2,70 mSv)⁶.

Desde ese momento, se han realizado numerosos estudios que prueban que la dosis de radiación emitida por TCED es menor que la emitida por TC de energía única: Bauer et al. revelaron dosis de radiación significativamente menores ($p < 0,003$) en TCED de segunda generación ($6,2 \pm 1,6$ mGy y 170 ± 41 mGy.cm) respecto a TCED de primera generación y la TC de energía única ($8,5 \pm 2,6$ mGy y 235 ± 117 mGy.cm). De Zordo et al. obtuvieron como resultado una exposición a la radiación significativamente menor ($p < 0,01$) en TCED de tono alto a 100 kV ($3,9 \pm 0,5$ mGy) en comparación con TC de energía única ($5,97 \pm 1,5$ mGy) manteniendo una imagen diagnóstica comparativamente buena⁶.

No obstante, existen otras publicaciones que no muestran beneficio alguno sobre la reducción de la exposición a la radiación: Yuan et al., a pesar de demostrar una reducción de la dosis del medio de contraste del 50 %, no encontraron diferencias significativas en la dosis

de radiación emitida entre TCED y TC de energía única ($412,5 \pm 34,1$ mGy.cm y $7,0 \pm 0,6$ mSv frente a $400,8 \pm 208,7$ mGy.cm y $6,8 \pm 3,5$ mSv). Ho et al., comparando dosis de radiación entre la TC de energía única y TCED realizada en TC multicorte convencional con dos rotaciones consecutivas, objetivaron un índice de dosis de $49,4$ mGy en estudios mediante TCED y $16,2$ mGy mediante TC de energía única⁶.

En relación con la angiotomografía computarizada coronaria, las dosis de radiación han seguido siendo la principal limitación, por lo que, con el desarrollo de algunas estrategias, se ha intentado reducir la exposición a la radiación¹⁰. Entre ellas, la adquisición prospectiva de imágenes desencadenada por ECG se ha convertido en una de las técnicas más prometedoras para la reducción de dosis de radiación¹¹.

Un estudio realizado por Ünal et al. reveló que exámenes de angiotomografía computarizada coronaria con método de adquisición prospectiva presentaban una reducción de la dosis de radiación del 73% respecto a aquellos exámenes con adquisición de imágenes de manera retrospectiva ($184,050 \pm 59,47$ mGy frente a $678,73 \pm 272,19$ mGy; $p < 0,001$)¹⁰. En otro estudio, llevado a cabo por Maruyama et al., objetivaron dosis de radiación de $4,3 \pm 1,3$ mSv en estudios angiotomografía computarizada coronaria con procedimiento de adquisición prospectiva y de $21,1 \pm 6,7$ mSv en estudios con método de adquisición retrospectiva ($p < 0,001$)¹². Sun K. et al. evaluaron dos grupos, comparando estudios de angiotomografía computarizada coronaria por TCED con modo de adquisición prospectivo ante estudios de modalidad helicoidal con adquisición retrospectiva de imágenes, obteniendo dosis de radiación de $1,0 \pm 0,16$ mSv en el primer grupo y de $7,1 \pm 1,05$ mSv en el segundo ($p = 0,001$)¹³.

En un artículo publicado por Sun Z. se informa que la dosis media de radiación para la angiotomografía computarizada coronaria con adquisición prospectiva varía entre $2,7$ a $4,5$ mSv, siendo significativamente menor que en estudios con adquisición retrospectiva. Además, expone que en estudios con modos de adquisición prospectiva se puede lograr mayor reducción de la dosis de radiación con la reducción de kilovoltaje y uso de valores pitch más altos. Sin embargo, estos procedimientos solo se pueden lograr con equipos de TC de doble fuente, que permiten mantener una alta resolución temporal¹¹, diferentes a las TC de energía dual disponibles en nuestro servicio.

Por lo tanto, la literatura existente parece descartar un aumento en la dosis de radiación emitida mediante TCED en comparación con TC de energía única. Los exámenes por TCED ofrecerán mayor valor diagnóstico sin dosis de radiación adicional, desmitificando la correlación semántica de “dual” con la mayor exposición a la radiación. Además, el

posprocesamiento de los datos en estudios de TCED podría permitir la reducción de la exposición a radiación ionizante respecto a protocolos convencionales, lo que supondría una ventaja adicional a la mejora de la imagen diagnóstica que ya ofrecen los sistemas de energía dual⁶. Sin embargo, esto es algo que debemos comprobar en nuestro ámbito de trabajo, por lo que planteamos este estudio, en el que nuestra hipótesis de partida es que los sistemas de TCED instalados en los últimos años en nuestro servicio de radiología habrán disminuido la dosis de radiación en los estudios cardiacos respecto a la que se daba con el sistema antiguo de TC multicorte.

OBJETIVOS DEL ESTUDIO

Comprobar si existe menor exposición a la radiación en estudios de angiotomografía computarizada coronaria en las nuevas TC de energía dual respecto de nuestro servicio de radiología respecto a la de la antigua TC helicoidal multicorte.

MATERIAL Y MÉTODOS

Se seleccionaron de manera retrospectiva todos los pacientes disponibles en los sistemas de información radiológico del área VI de salud de la Región de Murcia, que fueran sometidos a una prueba de angiotomografía computarizada coronaria entre los periodos de octubre de 2018 a octubre de 2019 (realizados en la antigua TC helicoidal multicorte) y octubre de 2023 a octubre de 2024 (realizados en las nuevas TC de doble energía). Para analizar los estudios por TC helicoidal multicorte se eligió ese periodo de tiempo (octubre 2018-2019) por dos motivos: en primer lugar, por ser el equipo de TC del que disponía nuestro servicio de Radiología en ese entonces; en segundo lugar, para escoger un periodo anterior a la pandemia por COVID-19 y evitar sesgos. A continuación, se excluyeron todos aquellos estudios que no coincidían con el procedimiento “TC Arterias Coronarias” (TC Aorta, TC Arterias Pulmonares, TC Venas Pulmonares, TC Tórax, TC Cuello y TC Abdomen). Posteriormente, se eliminaron los estudios que no fueron representativos (estudios piloto o “Scouts” y estudios de monitorización de medio de contraste o “Smart Prep”) y aquellos en los que no apareciera la dosis de radiación. Tras este paso, se objetivaron estudios pertenecientes al mismo paciente. Para quedarse únicamente con los estudios correspondientes al barrido definitivo, se eliminaron aquellos con una longitud de escaneo de 5 mm (se asume que corresponde a “Smart Prep”, que es la serie correspondiente a la imagen repetida cada segundo para la región de interés que tiene 5 mm de grosor) y los estudios con valores de $CTDI_{vol} = 0$ mGy (se asume que corresponden a “Scouts o pilotos”). Finalmente, se eliminó

un estudio en el que el equipo de tomografía computarizada dejó de funcionar y solo se realizó un examen radiológico parcial. Se dejan incluidos los estudios correspondientes a cuantificación de calcio coronario, además de la TC coronaria, para comparar también su dosis de radiación. Todo este procedimiento está representado en la Figura 1.

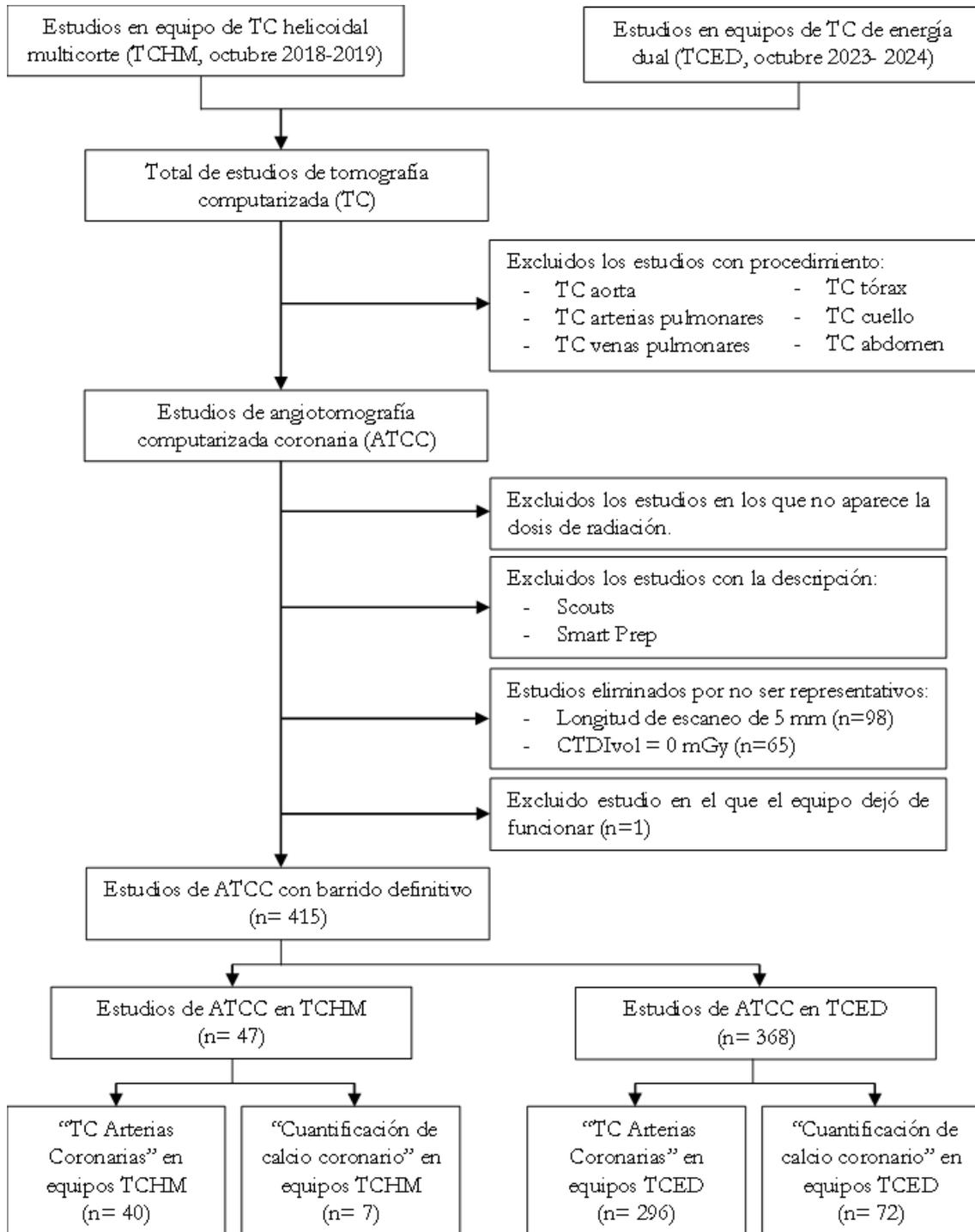


Figura 1. Diagrama de flujo

A la hora de realizar el análisis, se tuvieron en cuenta los siguientes datos relacionados con el propio procedimiento de angiotomografía computarizada coronaria: el producto dosis-longitud (DLP, mGy.cm); el índice de dosis en tomografía computarizada en volumen (CTDIvol, mGy); la dosis efectiva (E, mSv); el delta XY máximo (cm); el kilovoltaje (kV); la longitud de escaneo (mm); la corriente del tubo promedio y la corriente del tubo máxima (mA). Esta información fue acompañada de otras variables propias del paciente: la edad, el sexo, la estatura (cm), el peso (Kg) y el índice de masa corporal (IMC).

El material recopilado de la base de datos de los sistemas de tomografía computarizada ha sido evaluado de forma totalmente anónima, por lo que no se dispuso en ningún momento de información adicional que permita identificar al paciente, como el número de historia, el nombre o los apellidos. Asimismo, se desconoció el motivo de consulta por el que fue indicada la prueba de imagen y el diagnóstico radiológico tras el estudio.

Con toda esta información recopilada, se ha pretendido comprobar la hipótesis de la disminución de dosis de radiación recibida por los pacientes sometidos a angiotomografía computarizada coronaria con los nuevos equipos de tomografía computarizada del Servicio de Radiología del Hospital Universitario Morales Meseguer. Para ello se ha comparado la dosis de radiación recibida por los pacientes sometidos a TC de energía dual con 128 coronas de detectores con aquellos sometidos a TC helicoidal multicorte con 64 coronas de detectores, todos ellos utilizados en el Servicio simultánea o sucesivamente, y pertenecientes a la empresa GE Healthcare®.

Por un lado, las variables cuantitativas se describen en frecuencia de las variables, medias, medianas, desviación estándar y rango intercuartílico, según corresponda. Por otro lado, las variables cualitativas se representan en frecuencias y porcentajes.

Para comparar variables cuantitativas se emplearían los test t student o ANOVA o sus equivalentes no paramétricos según fuera adecuado. Como las variables relacionadas con la dosis no siguen una distribución normal (test de Kolmogorov-Smirnov), se realizó su análisis mediante pruebas no paramétricas (prueba U de Mann-Whitney). Las variables cualitativas podrían analizarse con los test de la χ^2 o exacto de Fisher, según procediera. Los factores que puedan ser determinantes en la dosis de radiación, además del equipamiento, se han evaluado mediante análisis uni y multivariante.

El análisis se ha llevado a cabo con los programas SPSS y MedCalc.

RESULTADOS

Se han obtenido los datos de un total de 415 sujetos (216 mujeres y 199 hombres) que se sometieron a una prueba de angiotomografía computarizada coronaria. La edad media de la población del estudio fue de $60,08 \pm 11,26$ años, presentando una distribución normal ($p=0,443$). Entre todos ellos, 47 pacientes fueron evaluados mediante un equipo de TC de energía única (Lightspeed) en el periodo de octubre de 2018 a octubre de 2019, mientras que los 368 restantes fueron valorados por equipos de TCED (67 pacientes por Revolution Frontier y 301 por Revolution HD) en el periodo de octubre de 2023 a octubre de 2024.

Para los estudios de angiotomografía computarizada coronaria ($n=336$), la dosis de radiación a la que se expusieron los pacientes fue significativamente menor en el grupo valorado por los equipos de TCED en comparación con el valorado por el equipo de TC helicoidal multicorte, presentando valores de DLP (mGy.cm) de 268[142-525] frente a 582[540-652] con una $p<0,001$; CTDIvol (mGy) de 19[10-32] frente a 32[30-32] con una $p<0,001$; y E (mSv) de 5[3-11] frente a 12[11-13] con una $p<0,001$. También se objetivaron diferencias significativas ($p<0,001$) en los valores de kilovoltaje, siendo estos más bajos en el grupo valorado por TCED (100[100-120] kV) que en el valorado por TC helicoidal multicorte (120[120-120] kV). En la Tabla I se ven reflejados estos resultados junto a los de otras variables dosimétricas y energéticas.

Asimismo, en estudios de cuantificación calcio ($n=79$), la dosis de radiación, medida mediante el producto dosis-longitud (DLP), fue menor en el grupo valorado por los equipos de TCED en comparación con el valorado por el equipo de TC helicoidal multicorte (74[64-85] mGy.cm frente a 87[87-101] mGy.cm, con una $p=0,003$). Estos resultados, junto al resto de variables dosimétricas y energéticas, se pueden ver recogidos en la Tabla II.

TABLA I. PUNTUACIÓN DE LAS UNIDADES DOSIMÉTRICAS Y ENERGÉTICAS EN ESTUDIOS “ANGIOTOMOGRAFÍA COMPUTARIZADA CORONARIA”

	TC de energía dual	TC helicoidal multicorte	P
DLP (mGy.cm)	268 [142-525]	582 [540-652]	<0,001
DLP pond/adq (mGy.cm)	259 [132-483]	553 [504-623]	<0,001
Total DLP (mGy.cm)	298 [156-554]	599 [550-674]	<0,001
CTDIvol (mGy)	19 [10-32]	32 [30-33]	<0,001
CTDIvol pond/adq (mGy)	18 [9-29]	31 [30-32]	<0,001
E (mSv)	5 [3-11]	12 [11-13]	<0,001
KVP (kV)	100 [100-120]	120 [120-120]	<0,001
Corriente del tubo prom (mA)	400 [350-475]	272 [264-279]	<0,001
Corriente del tubo max (mA)	450 [400-475]	420 [420-420]	=0,272

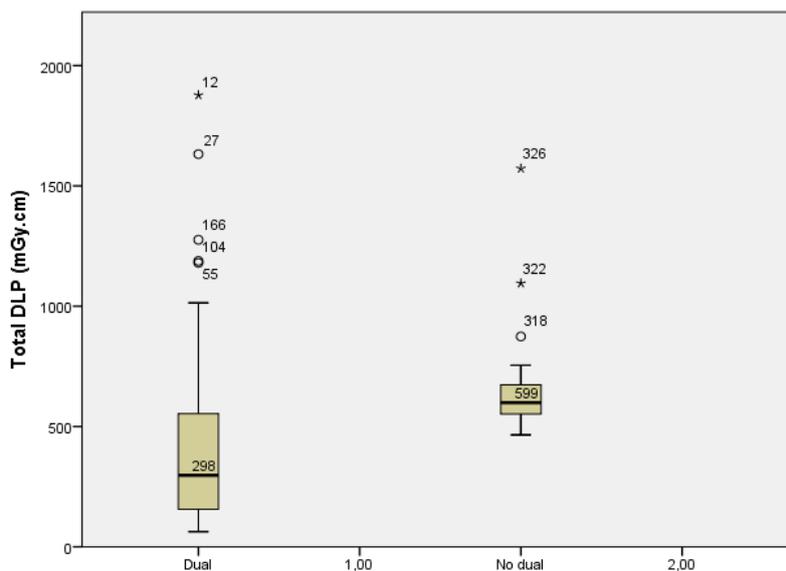


Figura 2. Diagrama de cajas y bigotes que muestra la diferencia del valor “Total DLP” en estudios de angiotomografía coronaria computarizada.

TABLA II. PUNTUACIÓN DE LAS UNIDADES DOSIMÉTRICAS Y ENERGÉTICAS EN ESTUDIOS “CUANTIFICACIÓN DE CALCIO CORONARIO”

	TC de energía dual	TC helicoidal multicorte	P
DLP (mGy.cm)	74 [64-85]	87 [87-101]	=0,003
DLP pond/adq (mGy.cm)	118 [85-235]	265 [101-399]	=0,072
Total DLP (mGy.cm)	248 [95-483]	494 [113-706]	=0,227
CTDIvol (mGy)	5 [5-5]	7 [7-7]	<0,001
CTDIvol pond/adq (mGy)	8 [5-15]	20 [7-22]	=0,53
E (mSv)	2 [1-2]	2 [2-2]	=0,217
KVP (kV)	120 [120-120]	120 [120-120]	=0,584
Corriente del tubo prom (mA)	250 [250-250]	305 [305-305]	<0,001
Corriente del tubo max (mA)	250 [250-250]	305 [305-305]	<0,001

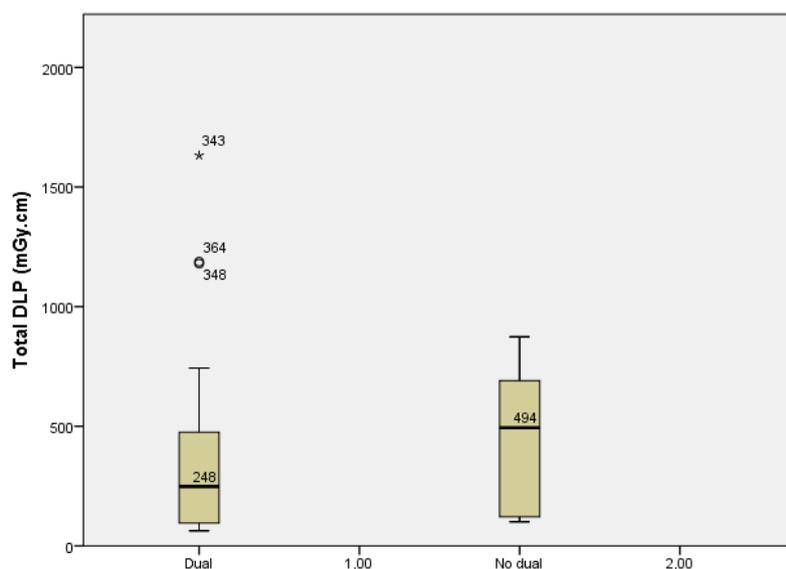


Figura 3. Diagrama de cajas y bigotes que muestra la diferencia del valor “Total DLP” en estudios de cuantificación de calcio coronario.

TABLA III. OTRAS VARIABLES ESTUDIADAS

		TC de energía dual	TC helicoidal multicorte	P
Angiotomografía computarizada coronaria	Longitud de escaneo (mm)	140 [140-160]	153 [140-166]	=0,047
	Delta XY max (cm)	2 [1-3]	2 [1-3]	=0,612
	IMC	27 [24-30]	29 [24-33]	=0,231
Cuantificación de calcio coronario	Longitud de escaneo (mm)	140 [120-160]	120 [120-140]	=0,330
	Delta XY max (cm)	2 [1-3]	2 [1-3]	=0,871
	IMC	29 [26-33]	305 [305-305]	=0,723

Además de estas variables, se tuvieron en cuenta otros datos característicos del propio estudio radiológico (Tabla III): la longitud de escaneo (mm) y el centraje (delta XY máximo, cm). Sin embargo, estas variables no explicarían las diferencias de dosis de radiación entre equipos de TCED y TC helicoidal multicorte, tanto en estudios de angiotomografía computarizada coronaria (presentando una longitud de escaneo de 140[140-160] frente a 153[140-166] con una $p=0,047$ y un delta XY máximo de 2[1-3] frente a 2[1-3] con una $p=0,612$) como en estudios de cuantificación de calcio coronario (presentando una longitud de escaneo de 140[120-160] frente a 120[120-140] con una $p=0,330$ y un delta XY máximo de 2[1-3] frente a 2[1-3] con una $p=0,871$).

También se tomó en consideración el índice de masa corporal (IMC) como dato propio del paciente que podría influir en la dosis de exposición (Tabla III). No obstante, el IMC tampoco explicaría las diferencias encontradas en la exposición a la radiación entre equipos de TCED y TC helicoidal multicorte, tanto en estudios de angiotomografía computarizada coronaria (27[25-30] frente a 29[24-32] con una $p=0,231$) como en estudios de cuantificación de calcio coronario (30[26-33] frente a 30[27-34] con una $p=0,723$).

DISCUSIÓN

En este trabajo se ha evaluado la exposición a la radiación ionizante en exámenes realizados en equipos de TC de energía dual en comparación con los efectuados en equipos de TC helicoidal multicorte, tanto en estudios de angiotomografía computarizada coronaria como en estudios de cuantificación de calcio coronario.

Los resultados han revelado que existe una reducción significativa de la dosis de radiación en los estudios realizados con los equipos de TC de energía dual en comparación con los realizados mediante el equipo de TC helicoidal multicorte. Estas diferencias se podrían explicar por la modulación de la corriente del tubo y el menor voltaje del tubo utilizado en los estudios por equipos de TC de energía dual en comparación con los que se realizaron mediante el equipo de TC helicoidal multicorte. Asimismo, los equipos de TCED permiten

recurrir a aplicaciones de posprocesamiento y reconstrucción de imágenes que ayudan a reducir la exposición a la radiación.

El modo de adquisición de imagen también ha jugado un papel fundamental en la reducción de la dosis de radiación. Aunque no hayamos podido obtener el tamaño muestral de los estudios de adquisición prospectiva, sabemos que todos estos se han llevado a cabo en los equipos de TCED. Esto supone una gran diferencia respecto a los equipos de TC helicoidal multicorte, con el que todos los estudios se llevaron a cabo mediante modo de adquisición retrospectiva.

Otras variables estudiadas, tanto del propio estudio (la longitud de escaneo y el centraje) como del paciente (el índice de masa corporal), no explicarían la diferencia de dosis de exposición a la radiación entre los pacientes sometidos a angiotomografía computarizada coronaria por TCED que por TC helicoidal multicorte, de acuerdo a los resultados del análisis multivariante.

Con todo lo expuesto, se debe tomar en consideración que la TC de energía dual es el sistema moderno general de nuestros servicios de radiología, pero no implica en sí mismo una reducción de dosis respecto a los sistemas de TC helicoidal multicorte monoenergéticos anteriores. El radiólogo será el encargado de ejecutar protocolos que permitan una reducción de la exposición a la radiación. Para ello, los sistemas de TCED tienen la ventaja de ofrecer herramientas adicionales de posprocesamiento y reconstrucción de imágenes, como las descritas anteriormente, que posibiliten reducir la dosis de acuerdo con el principio ALARA: “tan bajo como sea razonablemente posible”¹⁴.

CONCLUSIONES

La tomografía computarizada (TC) es una de las pruebas de imagen complementarias más utilizadas. Se ha ido desarrollando a lo largo del tiempo hasta llegar a los equipos de TC de energía dual (TCED). Todos los avances realizados en este campo han permitido considerar a la angiotomografía computarizada coronaria como una poderosa alternativa a la angiografía coronaria. Sin embargo, la radiación ionizante sigue siendo una de las principales limitaciones. En este estudio se demuestra que la dosis de radiación, medida mediante el producto dosis-longitud (DLP, mGy.cm), fue significativamente menor en procedimientos realizados por TCED en comparación con aquellos realizados por TC helicoidal multicorte, tanto en estudios de ATCC (268[142-525] frente a 582[540-652], $p < 0,001$) como en estudios de cuantificación de calcio coronario (74[64-85] frente a 87[87-101], $p = 0,003$). No obstante, hay que tener presente que los sistemas de TCED no implican por sí solos una reducción de

la dosis de radiación, por lo que el radiólogo será el responsable de aplicar el protocolo adecuado para reducir la cantidad de radiación a la que se expone el paciente.

BIBLIOGRAFÍA

1. Calzado A, Geleijns J. Tomografía computarizada. Evolución, principios técnicos y aplicaciones. *Rev Fis Med.* 2010;11(3):163-80. Disponible en: <https://revistadefisicamedica.es/index.php/rfm/article/view/115>
2. Mohsen M, Manisi Y, Bouzreda H, Youniss F. Evolution of computed tomography techniques. *Mod J Health Appl Sci.* 2024;1(1):49-58. <https://doi.org/10.70411/MJHAS.1.1.2024139>.
3. Hsieh J, Flohr T. Computed tomography recent history and future perspectives. *J Med Imaging (Bellingham)* 2021;8(5):052109. <https://doi.org/10.1117/1.JMI.8.5.052109>.
4. Armiñana A, Montón-Gómez C, Puig-Chilet A, Infante-Fuenzalida T, Fontenla-Martínez C, Torres-Espallardó I, et al. Tomografía Computarizada Espectral y unidades Hounsfield: bases para una correcta interpretación. *An RANM.* 2023;140(2):101-13. <https://doi.org/10.32440/ar.2023.140.02.rev01>.
5. Fernández-Pérez GC, Fraga Piñeiro C, Oñate Miranda M, Díez Blanco M, Mato Chaín J, Collazos Martínez M. Energía Dual en TC. Consideraciones técnicas y aplicaciones clínicas. *Radiología.* 2022;64(5):445-55. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2022.06.007>.
6. Henzler T, Fink C, Schoenberg SO, Schoepf UJ. Dual-Energy CT: Radiation Dose Aspects. *Am J Roentgenol.* 2012;199(5):16-25. <https://doi.org/10.2214/AJR.12.9210>.
7. Dell'Aversana S, Ascione R, De Giorgi M, De Lucia DR, Cuocolo R, Boccalatte M, et al. Dual-Energy CT of the Heart: A Review. *J Imaging.* 2022;8(9):236. <https://doi.org/10.3390/jimaging8090236>
8. Goo HW, Goo JM. Dual-Energy CT: New Horizon in Medical Imaging. *Korean J Radiol.* 2017;18(4):555-69. <https://doi.org/10.3348/kjr.2017.18.4.555>.
9. Mahesh M, Cody DD. Physics of Cardiac Imaging with Multiple-Row Detector CT. *RadioGraphics.* 2007;27(5):1495-509. <https://doi.org/10.1148/rg.275075045>.
10. Unal E, Yildiz AE, Guler E, Karcaaltincaba M, Akata D, Kilincer A, et al. Comparison of image quality and radiation dose between prospectively ECG-triggered and retrospectively ECG-gated CT angiography: Establishing heart rate cut-off values in first-generation dual-source CT. *Anatol J Cardiol.* 2015;15(9):759-64. <https://doi.org/10.5152/akd.2014.5720>.
11. Sun Z. Coronary CT angiography with prospective ECG-triggering: an effective alternative to invasive coronary angiography. *Cardiovasc Diagn Ther.* 2012;2(1):28-37. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2223-3652.2012.02.04>.
12. Maruyama T, Takada M, Hasuike T, Yoshikawa A, Namimatsu E, Yoshizumi T. Radiation Dose Reduction and Coronary Assessability of Prospective

Electrocardiogram-Gated Computed Tomography Coronary Angiography. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52(18):1450-5. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2008.07.048>.

13. Sun K, Han RJ, Ma LJ, Wang LJ, Li LG, Chen JH. Prospectively electrocardiogram-gated high-pitch spiral acquisition mode dual-source CT coronary angiography in patients with high heart rates: comparison with retrospective electrocardiogram-gated spiral acquisition mode. *Korean J Radiol.* 2012;13(6):684-93. <https://doi.org/10.3348/kjr.2012.13.6.684>.
14. Reher T. Dual-Energy CT and Radiation Dose. *J Am Coll Radiol.* 2019;17(1):95-6. <https://doi.org/10.1016/j.jacr.2019.07.016>.

