

AUSTRAL

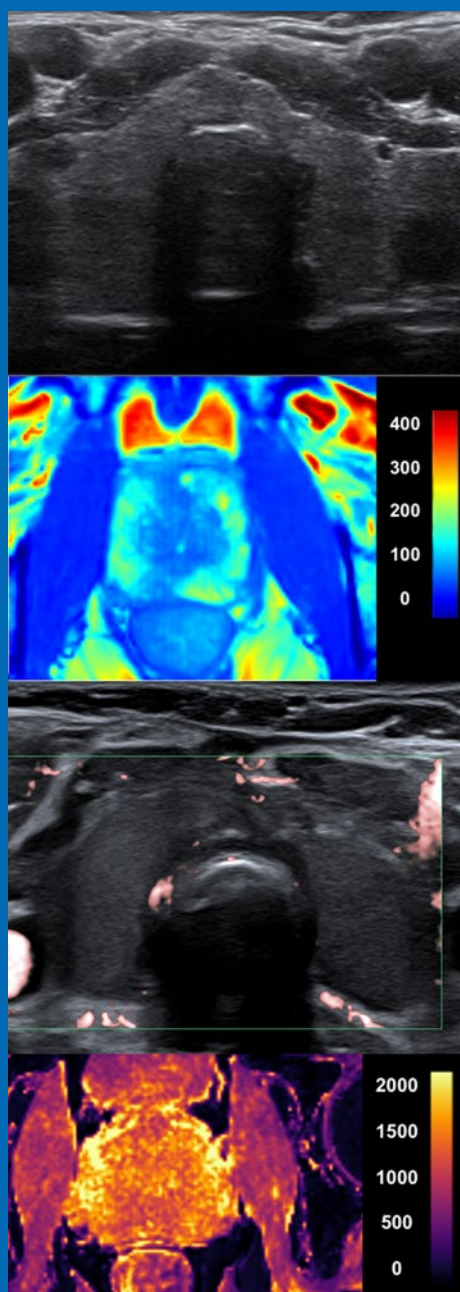
JOURNAL OF IMAGING

REVISTA CHILENA DE RADIOLOGÍA

Indexada en / Indexed in: Scielo, Scopus, EMBASE, DOAJ, LATINDEX Catálogo 2.0, MIAR, Bibliovigilance, Dialnet

ISSN: 2810-6954 / e-ISSN: 2810-708X

VOLUMEN 32. NÚMERO 4, OCTUBRE-DICIEMBRE 2026



**Para investigar la verdad es preciso dudar,
en cuanto sea posible, de todas las cosas**

**Análisis de mapas paramétricos T1/T2 con secuencia DESPO+
en sospecha de cáncer de próstata**

**Filtros de cobre en angiografía y radiación secundaria:
un estudio experimental**

**Estilos de vida saludable en estudiantes de tecnología
en radiología e imágenes diagnósticas**

**Análisis bibliométrico de la *Revista Chilena
de Radiología/Austral Journal of Imaging* (1995-2025)**

**Protección del cristalino en procedimientos fluoroscópicos:
estándares internacionales, brechas de implementación
y prioridades para Chile**

**Radiómica en cáncer de pulmón:
avances y desafíos en la práctica clínica**

**Pseudotiroides posoperatoria ecográfica:
evitando la sobreinterpretación del lecho quirúrgico**



PERMANYER

www.permanyer.com

www.resochradi.com

AUSTRAL

JOURNAL OF IMAGING

REVISTA CHILENA DE RADIOLOGÍA

Indexada en / Indexed in: SciELO, Scopus, EMBASE, DOAJ, LATINDEX Catálogo 2.0, MIAR, Bibliovigilance, Dialnet

ISSN: 2810-6954 / e-ISSN: 2810-708X

VOLUMEN 32. NÚMERO 4, OCTUBRE-DICIEMBRE 2026

Comité Editorial

Editor Jefe

Patricia Guzmán Falcón
*Hospital San Juan de Dios, Universidad Diego Portales,
Santiago, Chile*

Editores Nacionales

Juan P. Cruz
*Clinica Santa María e Instituto de Neurocirugía,
Santiago, Chile*

Nicolás Sánchez Domínguez
*Clinica Alemana, Universidad del Desarrollo,
Santiago, Chile*

Carla Sáez Tapia
*Hospital Clínico, Universidad de Chile,
Santiago, Chile*

Claudia Astudillo Abarca
*Clinica Las Condes,
Santiago, Chile*

Jorge Contardo Pérez
*Hospital Clínico, Universidad de Chile,
Santiago, Chile*

Carlos Toledo
*Hospital las Higueras, Talcahuano,
Bío Bío, Chile*

David Ladrón de Guevara Hernández
*IRAM y Hospital San Juan de Dios,
Universidad Diego Portales,
Santiago, Chile*

Eduardo Bravo Rius
*Hospital de niños Dr. Luis Calvo Mackenna,
Santiago, Chile*

Felipe Allende Nuñez
*Universidad Mayor y Universidad de San Sebastián,
Santiago, Chile*

Felipe Zumaeta Valenzuela
*Hospital Regional de Iquique,
Iquique, Chile*

Editores Internacionales

Sonia Bermúdez Muñoz
*Hospital Universitario Fundación Santa Fe de Bogotá,
Bogotá, Colombia*

Janio Szklaruk
*MD Anderson Cancer Center,
Houston, TX, Estados Unidos*

Marcel Koenigkam Santos
*Hospital das Clínicas de Bauru, Universidad de São Paulo,
São Paulo, Brasil*

Araceli Cué Castro
*Hospital General "Dr. Enrique Cabrera",
Ciudad de México, México*

Cristina García Villar
*Hospital Universitario Puerta del Mar de Cádiz,
Cádiz, España*

Comité Editorial Asesor

Julieta Aránguiz Ramírez
*Bioestadística e Investigación Biomédica,
Universidad Diego Portales,
Santiago, Chile*

Rolando Cocio
*Salud Pública, Clínica Alemana,
Universidad del Desarrollo,
Santiago, Chile*

Pablo Del Río López
*Protección Radiológica Hospital Militar de Santiago,
Universidad Mayor,
Santiago, Chile*



PERMANYER
www.permanyer.com

www.resochradi.com

Para investigar la verdad es preciso dudar, en cuanto sea posible, de todas las cosas¹

To seek the truth, one must doubt everything, as far as possible¹

Patricia Guzmán-Falcón 

Editor en Jefe, Austral Journal of Imaging/Revista Chilena de Radiología, Santiago, Chile

René Descartes, *Principios de la filosofía*, Parte I, §1 (1644).

Traducción del original del latín

Vivimos un periodo de profundas transformaciones en el que la inteligencia artificial se ha convertido en una protagonista indiscutida, permeando actividades que van desde aquellas simples y cotidianas hasta la producción de conocimiento. Es una herramienta claramente útil, capaz de facilitar y acelerar procesos repetitivos, engorrosos y muchas veces demandantes de tiempo.

En nuestra propia experiencia editorial, un número creciente de manuscritos declara el uso de inteligencia artificial, al menos como herramienta de apoyo para la revisión ortográfica o lingüística. Resistirse a esta transformación parece poco razonable. La discusión relevante probablemente ya no sea si utilizaremos o no inteligencia artificial, sino cómo la utilizaremos y, especialmente, qué estamos dispuestos a delegarle.

En este punto es interesante volver a mirar aquello que sigue siendo esencial en la construcción humana del conocimiento: nuestra capacidad de reflexionar, crear, formular preguntas y, sobre todo, dudar. La duda cartesiana adquiere aquí una particular actualidad. Nunca ha sido tan fácil obtener una respuesta y, por

lo mismo, nunca tan importante conservar la capacidad de ponerla en duda.

La ciencia se construye precisamente a partir de preguntas. No basta con encontrar una respuesta plausible, es necesario examinar su origen, evaluar la evidencia que la sustenta, reconocer sus limitaciones y determinar hasta qué punto podemos considerarla válida. Todo aquello forma parte del quehacer científico cotidiano: preguntarnos no solo *qué sabemos*, sino también *cómo sabemos aquello que creemos saber*.

La metacognición, entendida como la capacidad de observar y evaluar nuestros propios procesos de pensamiento, es otra dimensión igualmente importante. Reconocer qué sabemos, qué ignoramos, cuándo una explicación no resulta suficiente, cuándo debemos buscar nueva evidencia o incluso cuándo nuestros propios sesgos están condicionando una conclusión constituye una parte fundamental del aprendizaje, de la investigación y del juicio profesional.

En este contexto, el pensamiento crítico no consiste simplemente en rechazar respuestas, sino en contrastarlas, fundamentarlas y someterlas a examen. Dudar, en cuanto sea posible, de todas las cosas, como propone Descartes¹, no implica una desconfianza permanente, o una suerte de oposicionismo desafiante, sino

Correspondencia:

Patricia Guzmán-Falcón

E-mail: patricia.guzman.f@redsalud.gob.cl

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permanyer. Éste es un artículo *open access* bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Fecha de recepción: 01-08-2026

Fecha de aceptación: 28-08-2026

DOI: 10.24875/AJI.M26000041

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):173-174

www.resochradi.com

la disposición a no aceptar como verdadero aquello que no ha sido suficientemente examinado.

La inteligencia artificial generativa introduce aquí una nueva tensión, toda vez que puede formular argumentos, sintetizar evidencia, proponer interpretaciones y producir textos con una aparente coherencia y certeza. El riesgo, quizás, no está en el hecho de utilizarla, sino en dejar de ejercer nosotros mismos algunas de las operaciones cognitivas que progresivamente comenzamos a confiarle, como una suerte de cesión cognitiva, relacionada con conceptos descritos en la literatura como *cognitive offloading* o *cognitive outsourcing*: la transferencia hacia herramientas externas de tareas que antes requerían nuestro propio esfuerzo mental. Esta delegación no es necesariamente perjudicial, porque no todas las tareas cognitivas son equivalentes.

Delegar una corrección ortográfica no es lo mismo que delegar la formulación de una pregunta; resumir información no equivale a interpretarla, y, por sobre todo, obtener una conclusión no significa haber recorrido el, muchas veces arduo, proceso intelectual necesario para comprenderla, cuestionarla o defenderla.

El desafío que plantea la inteligencia artificial generativa tal vez no sea preservar intactas todas las formas tradicionales de hacer las cosas, sino reconocer cuáles de nuestros procesos cognitivos vale la pena proteger precisamente porque forman parte del aprendizaje, de la creación y de la construcción del conocimiento.

Referencias

1. Descartes R. Principia philosophiae. Amstelodami: apud Ludovicum Elzevirium; 1644. Pars 1, Art. 1.

Análisis de mapas paramétricos T1/T2 con secuencia DESPO+ en sospecha de cáncer de próstata

Analysis of T1/T2 parametric maps with DESPO+ sequence in suspected prostate cancer

José M. González-del-Valle^{1*} , Ronal Coronado^{2,3}, Pablo Irrarrázaval^{3,4}, Marcelo Andía^{1,3}, Javier Domínguez⁵ y Cecilia Besa^{3,6}

¹Departamento de Radiología, Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile; ²Facultad de Ingeniería y Negocios, Universidad de Las Américas; ³Millennium Institute for Intelligent Healthcare Engineering (iHEALTH); ⁴Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería; ⁵Departamento de Urología; ⁶Departamento de Radiología, Centro de Imágenes Biomédicas. Facultad de Medicina, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile

Resumen

Introducción: El cáncer de próstata (PCa) es la neoplasia más frecuente en los hombres en Chile. La resonancia magnética multiparamétrica ha mejorado su detección y caracterización, aunque persiste una importante variabilidad interobservador. Los mapas paramétricos T1 y T2 aportan información cuantitativa complementaria, pero su uso clínico ha sido limitado por los largos tiempos de adquisición y los artefactos en la región prostática. **Objetivo:** Evaluar la técnica DESPO+ en pacientes con sospecha de PCa, determinando si los valores cuantitativos T1/T2 concuerdan con lo descrito en la literatura y permiten diferenciar tejido sano de lesiones confirmadas. **Material y métodos:** Se incluyeron 40 hombres con sospecha clínica de PCa (edad 63 ± 7 años; APE 7 ± 9 ng/ml). El 50% presentaron lesiones PIRADS ≥ 3 , predominantemente en la zona periférica, todas confirmadas por histología. **Resultados:** Los mapas T1/T2 adquiridos con DESPO+ no mostraron artefactos relevantes y tuvieron valores compatibles con los rangos publicados. Se observaron diferencias significativas entre regiones anatómicas: en la zona periférica, los valores T1 y T2 fueron menores en tejido tumoral que en tejido sano, y en la zona transicional no se identificaron diferencias significativas. **Conclusiones:** DESPO+ demostró viabilidad clínica y potencial para fortalecer la caracterización del PCa. Se requieren estudios con mayor tamaño muestral y validación externa.

Palabras clave: Neoplasias prostáticas. Resonancia magnética. Resonancia magnética multiparamétrica. Procesamiento de imágenes.

Abstract

Introduction: Prostate cancer (PCa) is the most common malignancy among men in Chile. Multiparametric MRI has improved its detection; however, substantial interobserver variability persists. Quantitative T1 and T2 parametric maps offer additional tissue characterization, but their clinical use has been limited by long acquisition times and frequent artifacts in the prostate region. **Objective:** To evaluate the DESPO+ technique in patients with suspected PCa, determining whether the values obtained from T1 and T2 parametric maps agree with published reference ranges and whether they distinguish healthy tissue from biopsy-proven lesions. **Material and methods:** Forty men with clinical suspicion of PCa were included (mean age 63 ± 7 years; PSA 7 ± 9 ng/mL). Fifty percent presented PI-RADS ≥ 3 lesions, mainly in the peripheral zone, all confirmed histologically.

*Correspondencia:

José M. González-del-Valle
E-mail: jmgonzalez11@uc.cl

Fecha de recepción: 27-06-2025

Fecha de aceptación: 19-03-2026

DOI: 10.24875/AJL.25000048

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):175-185

www.resochradi.com

0717-9308 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permanyer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Results: T1/T2 maps obtained with DESPO+ showed no relevant artifacts, and the quantitative values agreed with those reported in the literature. Significant differences were found across anatomical regions: in the peripheral zone both T1 and T2 values were lower in tumor tissue compared with healthy tissue, and no significant differences were observed in the transition zone. **Conclusions:** DESPO+ demonstrated clinical feasibility and potential to enhance the quantitative characterization of PCa. Larger cohorts and external validation are needed.

Keywords: Prostatic neoplasms. Magnetic resonance imaging. Multiparametric magnetic resonance imaging. Image processing.

Introducción

El cáncer de próstata (PCa) es un problema de salud importante. En la actualidad, en los Estados Unidos de América, aproximadamente 10 millones de hombres viven con un diagnóstico de PCa, siendo su etapa metastásica la causa de más de 400.000 muertes al año, cifra que se espera se duplique para el año 2040¹. En 2022, el Global Cancer Observatory reportó que en Chile el PCa presentó una incidencia de más de 9000 casos y se asoció a unas 2000 muertes, siendo el cáncer con mayor incidencia y más mortalidad en la población masculina².

La resonancia magnética multiparamétrica (MRImp) es actualmente el estudio de elección en la evaluación de los pacientes con sospecha de PCa. El algoritmo diagnóstico se inicia con la identificación de factores de riesgo, la evaluación clínica mediante tacto rectal y la determinación del antígeno prostático específico (APE). Ante hallazgos anormales, la MRImp permite detectar y caracterizar lesiones sospechosas de PCa y también guiar la biopsia. Su uso está respaldado por guías internacionales³⁻⁵ y por estudios, como el PROMIS, que han demostrado su eficacia en aumentar la detección de cáncer clínicamente significativo y reducir el sobrediagnóstico de tumores indolentes^{6,7}.

El sistema PI-RADS (*Prostate Imaging-Reporting and Data System*) v2.1, utilizado en la clasificación y la interpretación de la MRImp prostática, tiene una buena correlación con la presencia histológica de PCa³. Sin embargo, al ser un sistema cualitativo, presenta variabilidad interobservador. Los estudios han reportado una concordancia de moderada a adecuada entre radiólogos, con coeficientes kappa de 0,7⁸ y 0,593 en la zona periférica (PZ) para lesiones PI-RADS ≥ 4 ⁹, lo que destaca la necesidad de estrategias que reduzcan esta variabilidad diagnóstica.

Una alternativa prometedora es el uso de imágenes cuantitativas, como los mapas paramétricos de T1 y T2, que permiten una caracterización tisular más precisa¹⁰. No obstante, su implementación clínica enfrenta limitaciones, como los largos tiempos de adquisición en 3D y los artefactos por *off-resonance*. Una solución

para esto es la técnica DESPO+ (*driven equilibrium single pulse observation of T1/T2 plus*), que no solo permite la reconstrucción de mapas 3D de T1 y T2, sino que también disminuye el tiempo de adquisición y corrige los artefactos mencionados¹⁰ (Fig. 1).

Nuestro grupo de estudio ha desarrollado y aplicado previamente la técnica DESPO+ en una cohorte de 14 pacientes sanos, obteniendo mapas paramétricos T1 y T2 con resultados comparables a los reportados en la literatura¹⁰. Estos hallazgos iniciales respaldan la viabilidad técnica y la reproducibilidad del método. Sin embargo, es fundamental evaluar su desempeño en pacientes con sospecha de PCa.

Por lo anterior, el objetivo de este estudio es evaluar el desempeño de la técnica DESPO+ en pacientes con sospecha de PCa mediante el análisis cuantitativo de los mapas paramétricos T1 y T2. Buscamos verificar si los valores obtenidos se alinean con los rangos descritos en la literatura y determinar si permiten diferenciar tejido sano de lesiones con diagnóstico de PCa. Con ello, exploramos su potencial utilidad clínica como complemento de la mpMRI y del sistema PI-RADS, aportando una herramienta cuantitativa que contribuya a disminuir la variabilidad diagnóstica.

Material y métodos

Pacientes

Este estudio prospectivo unicéntrico utilizó una base de datos de nuestro grupo de investigación (Fondecyt Regular 1210468) y fue aprobado por el Comité de Ética de la Pontificia Universidad Católica de Chile (Número de aprobación 200612004). Se obtuvo el consentimiento informado por escrito de todos los participantes. Se incluyeron en el estudio pacientes con sospecha clínica de PCa entre octubre de 2022 y enero de 2024 derivados por el equipo de urología de la Red de Salud UC Christus. La sospecha clínica de PCa se definió por APE elevado, antecedentes familiares de PCa o tacto rectal alterado.

Todos los pacientes incluidos en el estudio fueron sometidos a MRImp de 3T antes de la realización de

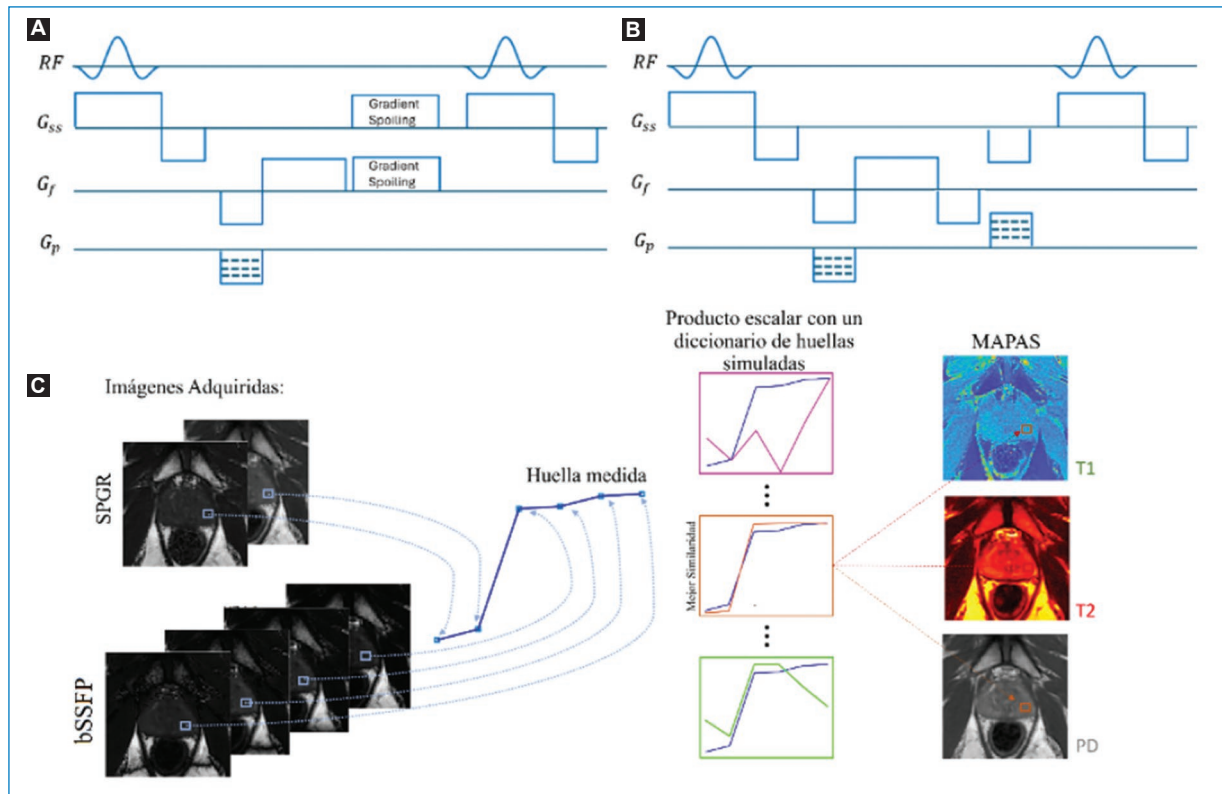


Figura 1. Secuencias de resonancia magnética usadas: SPGR (A) y bSSFP (B). DESPO+, el método de reconstrucción usado en (C), permite la obtención de mapas paramétricos T1 y T2 a partir de adquisiciones rápidas utilizando secuencias SPGR (*spoiled gradient echo sequences*) y bSSFP (*steady-state free precession imaging*) en la región prostática. Los datos adquiridos generan una «huella de medición» que es procesada por un algoritmo de inteligencia artificial, el cual no solo permite reconstruir los mapas paramétricos, sino que también corrige los artefactos de *off-resonance*.

la biopsia, en los casos en que esta se encontraba clínicamente indicada. Se excluyeron pacientes con claustrofobia, antecedentes de tratamiento previo para PCa (cirugía, radioterapia o terapia hormonal), secuencias de MRImp incompletas o artefactos graves que impidieran la segmentación precisa de las lesiones. Además, se excluyeron ocho pacientes que no contaban con los resultados de la biopsia hasta septiembre de 2024.

Caracterización de la cohorte

Se analizaron variables demográficas (edad), antecedentes clínicos (antecedente familiar de PCa, APE de ingreso al estudio o tacto rectal alterado), variables radiológicas (volumen por MRImp, densidad del APE por MRImp, PIRADS v2.1, tamaño y ubicación de la lesión en la próstata, presencia de extensión local extraprostática definida como compromiso del paquete

neurovascular adyacente o de las vesículas seminales, o extensión a distancia definida como adenopatías en las cadenas ilíacas o compromiso de la médula ósea) y variables histopatológicas (puntuación de Gleason o presencia de PCa).

Secuencias de MRImp

Se utilizó un resonador de 3,0 T Ingenia MRI system (Philips, Best, The Netherlands) e incluyó secuencias estándar T2 axial de alta resolución (T2HR), difusión (DWI) y mapa de coeficiente de difusión aparente (ADC), y secuencias con protocolo de investigación DESPO+ que incluyó mapas paramétricos T1/T2 e imagen axial sintetizada de T2 de alta resolución (HR T2synt)¹⁰ (Fig. 2). En el presente protocolo no se utilizó medio de contraste intravenoso. La tabla 1 resume los parámetros relevantes usados durante la adquisición.

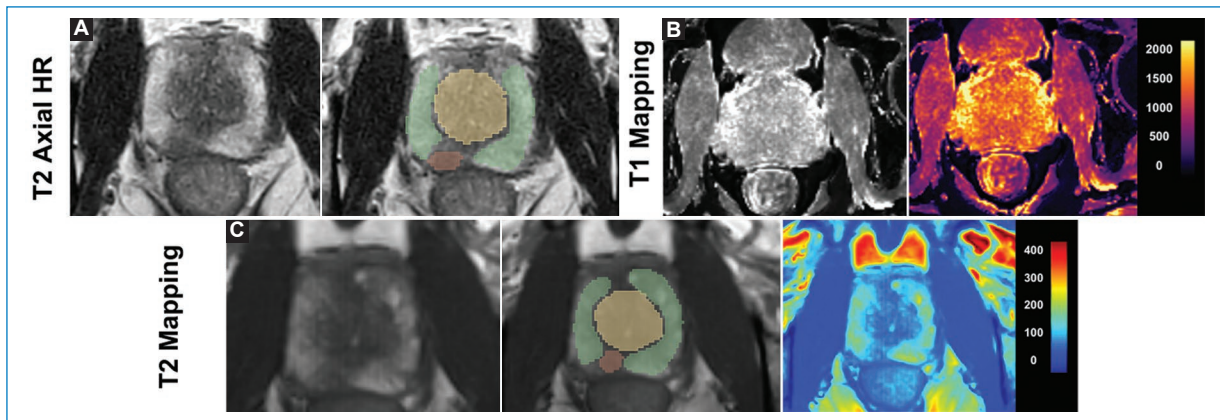


Figura 2. Imágenes obtenidas del protocolo de investigación que incluye secuencias clínicas y mapas paramétricos de secuencia DESPO+. **A:** corresponden a la imagen de T2 axial HR y su segmentación de tejido sano de la zona periférica (verde) y de la zona de transición (amarillo), y lesión en la zona periférica derecha (rojo), respectivamente. **B:** corresponden a la imagen de mapa T1 paramétrico en escala de grises y con escala de colores. **C:** corresponden a la imagen de mapa T2 paramétrico, su segmentación y su representación en escala de colores de tejido sano de la zona periférica (verde) y de la zona de transición (amarillo), y lesión en la zona periférica derecha (rojo), respectivamente.

Tabla 1. Parámetros de adquisición de las secuencias de resonancia magnética usadas

Protocolo	Secuencia	TE (ms)	TR (ms)	α (°)	Tiempo (min)
DESPO+	SPGR1	3,1	8,0	4	3,6
	SPGR2	3,1	8,0	15	
	bSSFP1	1,7	3,4	15	
	bSSFP2	2,1	4,2	30	
	bSSFP3	3,4	6,8	60	
SE	T1w	7	795	90	7,1
	T2w	110	4229	90	
SE-EPI tradicional	DWI b (s/mm ²): {100,500, 1000,2000}	100	6900	90	17,7

α : flip angle; bSSFP: precesión libre en estado estacionario balanceada (*balanced steady-state free precession*); DESPO+: *driven equilibrium single pulse observation of T1/T2 plus*; DWI: imagen potenciada en difusión (*diffusion-weighted imaging*); SE: eco de espín (*spin echo*); SE-EPI: eco de espín con imagen ecoplanar (*spin echo-echo planar imaging*); SPGR: eco de gradiente con destrucción de la coherencia transversal (*spoiled gradient echo*); T1w: ponderada en T1; T2w: ponderada en T2; TE: tiempo de eco; TR: tiempo de repetición.

Análisis de lesiones de PCa

Las imágenes fueron interpretadas usando el sistema de clasificación PIRADS v2.1 por un radiólogo experto en imágenes abdominopelvianas (15 años de experiencia). Las lesiones o alteraciones sospechosas PIRADS ≥ 3 fueron evaluadas para su derivación a biopsia con ecografía transrectal dirigida por MRImp, de acuerdo con la evaluación clínica por el equipo de urología. Un patólogo especializado en aparato genitourinario revisó las muestras de cada paciente para confirmar el diagnóstico de PCa. A cada tumor se le

asignó una puntuación de Gleason según el sistema de clasificación de la Sociedad Internacional de Patología Urológica (ISUP)¹¹.

El estándar de referencia se estableció a partir de los hallazgos histopatológicos obtenidos mediante la combinación de biopsias sistemáticas por ecografía transrectal y biopsias dirigidas por MRImp de las lesiones índice sospechosas. Se consideró clínicamente significativo todo cáncer con puntuación de Gleason ≥ 7 , volumen $\geq 0,5$ ml o extensión extraprostática.

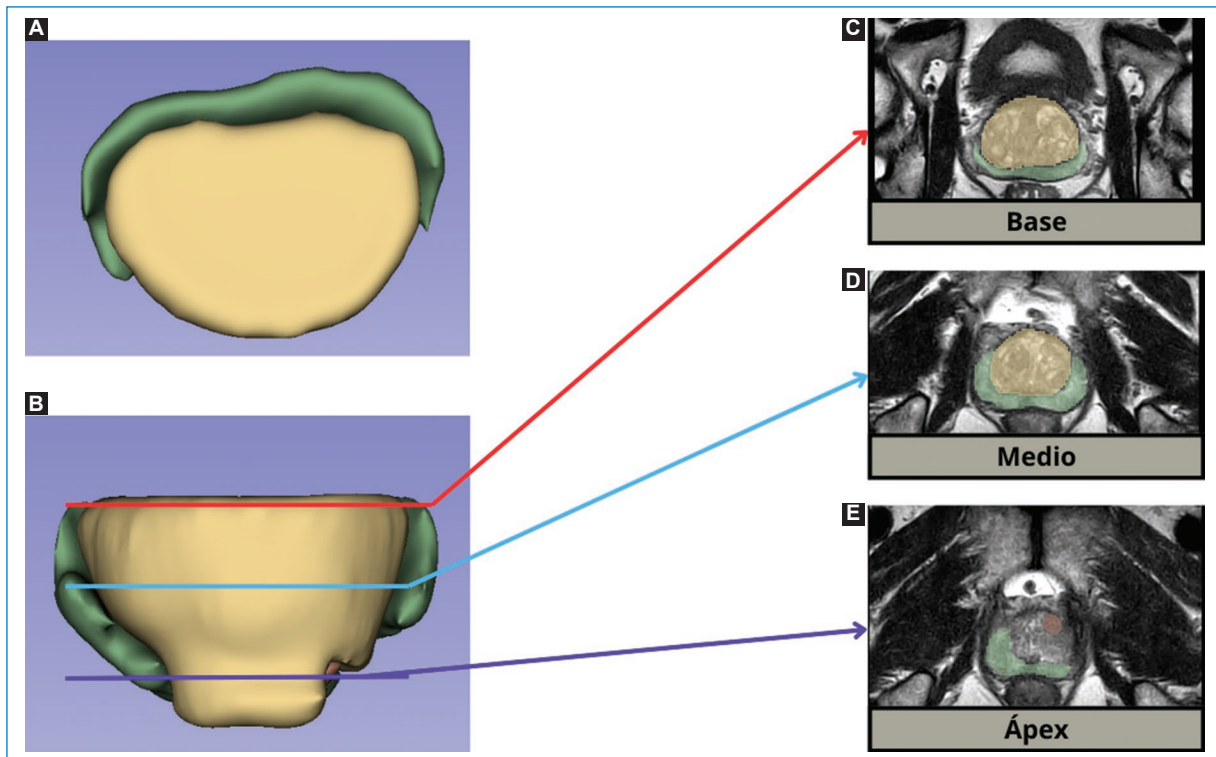


Figura 3. Segmentaciones realizadas en tejido sano y lesiones de cáncer de próstata. La imagen a la izquierda muestra la segmentación volumétrica, en vistas axial (A) y coronal (B), identificando en rojo la base, en celeste el medio y en morado el ápex de la glándula prostática. Nótese que se identifica una lesión en la zona de transición izquierda (burdeos). A derecha se observa la segmentación de la zona de transición (amarillo), la zona periférica (verde) y lesión de cáncer de próstata (burdeos) en la base (C), el medio (D) y el ápex (E) de la glándula.

Segmentación y análisis de las imágenes

La glándula prostática se segmentó de forma volumétrica (3D) en los mapas T1 y T2 por un radiólogo experto en imágenes abdominales (15 años de experiencia). Adicionalmente, se dividieron la PZ en tres niveles –base, tercio medio y ápex– y la zona de transición (TZ) en dos niveles –base y tercio medio–. Las lesiones con confirmación histológica también se segmentaron. Esto se realizó siguiendo la metodología de De Oliveira et al.¹² utilizando el software 3DSlicer (v5.6.1) (Fig. 3). La TZ no se segmentó en el ápex por su pequeño tamaño y superposición anatómica. Se realizó un análisis promedio de tejido sano tanto de forma zonal como volumétrica. También se realizó una comparación entre lesión sospechosa y tejido sano contralateral a la lesión.

El análisis estadístico se llevó a cabo con test paramétricos no pareados para las variables continuas y con prueba χ^2 para las variables discretas, estableciendo la significancia con un valor $p \leq 0,05$ en Prism. Los gráficos se generaron con R y Prism.

Resultados

Pacientes

Se incluyeron 40 pacientes con sospecha de PCa, con una edad promedio de 63 ± 7 años y APE promedio de 7 ± 9 ng/ml. En las tablas 2 y 3 se describen las variables demográficas de la cohorte. El 50% de los pacientes presentaron lesiones PIRADS v2.1 ≥ 3 .

Caracterización de las lesiones sospechosas

De las 20 lesiones sospechosas, 14 se localizaron en la PZ (tamaño promedio: 11 ± 5 mm), con un caso de extensión extracapsular y tres con diseminación a distancia. Las seis restantes se ubicaron en la TZ (tamaño promedio: 13 ± 6 mm) y no presentaron signos de extensión local ni a distancia. En la PZ se biopsiaron 10 lesiones, con Gleason < 7 en el 30%, Gleason $3 + 4$ en el 60% y Gleason $4 + 3$ en el 10%. En la TZ se biopsiaron cuatro lesiones, de las cuales el 75%

Tabla 2. Descripción de las variables demográficas, radiológicas e histológicas de la cohorte

Categoría	Variable	Cohorte (n = 40)	PCa en PZ (n = 14)	PCa en TZ (n = 6)	Sin PCa (n = 20)	p
Factores clínico-demográficos	Edad, años	63 ± 7	64 ± 6	66 ± 8	61,5 ± 7	0,18* 0,22†
	APE, ng/ml	7 ± 9	10 ± 16	6,8 ± 2	6,3 ± 3,3	0,32* 0,72†
	Antecedente familiar de PCa, % (n)	50% (20/40)	64% (9/14)	33% (2/6)	45% (9/20)	0,4* 0,3†
	Tacto rectal alterado, % (n)	10% (4/40)	14% (2/14)	0% (0/6)	10% (2/20)	0,7* 0,8†
Características radiológicas	Volumen prostático por RM, ml	50 ± 29	40 ± 22	29 ± 10	55 ± 22	0,37* 0,11†
	Densidad de APE, ng/ml/cc	0,25 ± 0,6	0,5 ± 1,2	0,2 ± 0,04	0,12 ± 0,05	0,18* 0,003†
	Tamaño de lesiones sospechosas, mm	12 ± 5	11 ± 5	13 ± 6	-	-

Los datos continuos se expresan como promedio ± desviación estándar.

*Valor p de PCa en TZ vs. sin PCa.

†Valor p de PCa en PZ vs. sin PCa.

APE: antígeno prostático específico; PCa: cáncer de próstata; PZ: zona periférica; RM: resonancia magnética; TZ: zona de transición.

Tabla 3. Descripción de las variables discretas demográficas, radiológicas e histológicas de la cohorte, pacientes con cáncer prostático en la zona periférica o la zona de transición, y sin cáncer de próstata

Categoría	Variable	Cohorte (n = 40)	PCa en PZ (n = 14)	PCa en TZ (n = 6)
Características radiológicas: clasificación PIRADS V2.1	PIRADS 1, % (n)	0% (0/40)	0% (0/14)	0% (0/6)
	PIRADS 2, % (n)	50% (20/40)	0% (0/14)	0% (0/6)
	PIRADS 3, % (n)	15% (6/40)	14% (2/14)	66% (4/6)
	PIRADS 4, % (n)	22% (9/40)	57% (8/14)	16% (1/6)
	PIRADS 5, % (n)	13% (5/40)	28% (4/14)	16% (1/6)
Características radiológicas: signos de diseminación	Signos de extensión local*, % (n)	3% (1/40)	8% (1/14)	0% (0/6)
	Signos de extensión a distancia†, % (n)	8% (3/40)	21% (3/14)	0% (0/6)
Histopatología	Biopsias realizadas en PIRADS ≥ 3, % (n)	75% (14/20)	71% (10/14)	66% (4/6)
	Gleason < 7, % (n)	35% (5/14)	30% (3/10)	75% (3/4)
	Gleason 3 + 4, % (n)	50% (7/14)	60% (6/10)	0% (0/10)
	Gleason 4 + 3, % (n)	14% (2/14)	10% (1/10)	25% (1/4)

*Compromiso del paquete neurovascular adyacente o de las vesículas seminales.

†Adenopatías en las cadenas ilíacas o compromiso de la médula ósea incluida en el campo de visión.

PCa: cáncer de próstata; PZ: zona periférica; TZ: zona de transición.

fueron Gleason < 7 y el 25% fueron Gleason 4 + 3. No hubo lesiones con Gleason ≥ 8. Todas las biopsias confirmaron PCa.

Mapas paramétricos

Ninguno de los mapas paramétricos presentó artefactos que impidieran su interpretación. La

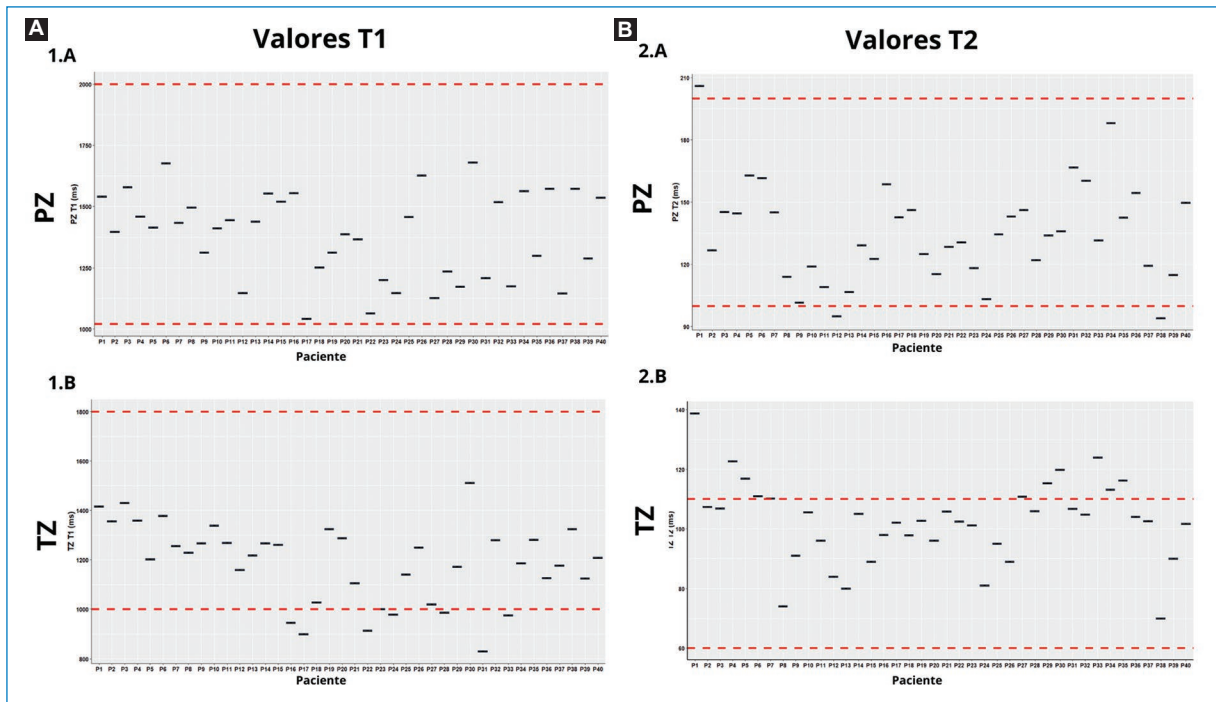


Figura 4. A: box plots que muestran los valores promedio de T1 del volumen de tejido sano en las zonas periférica (PZ) y de transición (TZ) en 40 pacientes. Las líneas punteadas rojas representan los valores máximos (en PZ, T1 2000 ms; en TZ, T1 1800 ms) y mínimos (en PZ, T1 1037 ms; en TZ, T1 1050 ms) reportados en la literatura¹⁰. **B:** box plots que muestran los valores promedio T2 del volumen de tejido sano en la PZ y la TZ, obtenidos a partir de los mapas paramétricos de T2 en 40 pacientes. Las líneas punteadas rojas representan los valores máximos (en PZ, T2 200 ms; en TZ, T2: 110 ms) y mínimos (en PZ, T2 105 ms; en TZ, T2: 60 ms) reportados en la literatura¹⁰.

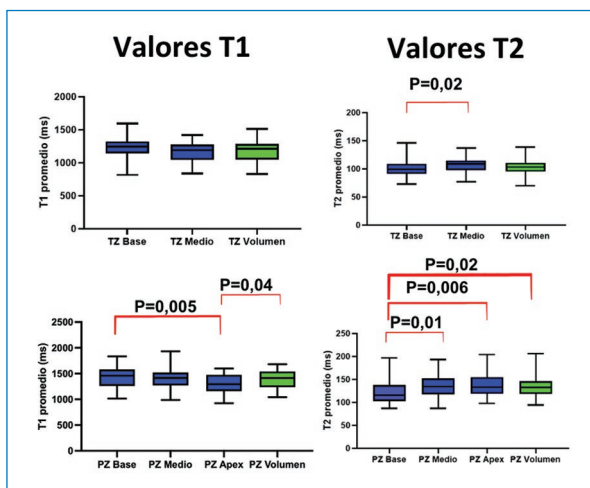


Figura 5. Box-plots con los valores promedio volumétricos y de las distintas zonas prostáticas (base, medio y ápex) de tejido sano obtenidos en la zona de transición y en la zona periférica para los mapas paramétricos T1 y T2. Los corchetes muestran las diferencias estadísticamente significativas encontradas al comparar los distintos valores.

figura 4 A y B ilustra los valores promedio del tejido sano. La figura 5 muestra el análisis segmentario y volumétrico, cuyos valores específicos se consignan en las tablas 4 y 5.

Valores T1 en tejido sano

En la PZ, los 40 pacientes presentaron valores dentro del rango referencial de la literatura (1037-2000 ms). En la TZ, 36 casos se ubicaron dentro del intervalo de referencia (1050-1800 ms) o presentaron una diferencia mínima (menos de 50 ms); los cuatro casos restantes presentaron valores por debajo del límite inferior.

El análisis segmentario en T1 mostró valores T1 promedio de 1422 ± 190 ms en la base, 1386 ± 202 ms en la zona media y 1302 ± 194 ms en el ápex de la PZ, con un valor global de 1383 ± 177 ms, con diferencias significativas entre el ápex y la base ($p = 0,005$), y entre el ápex y el volumen total ($p = 0,04$). En la TZ no se observaron diferencias estadísticamente relevantes según la zona.

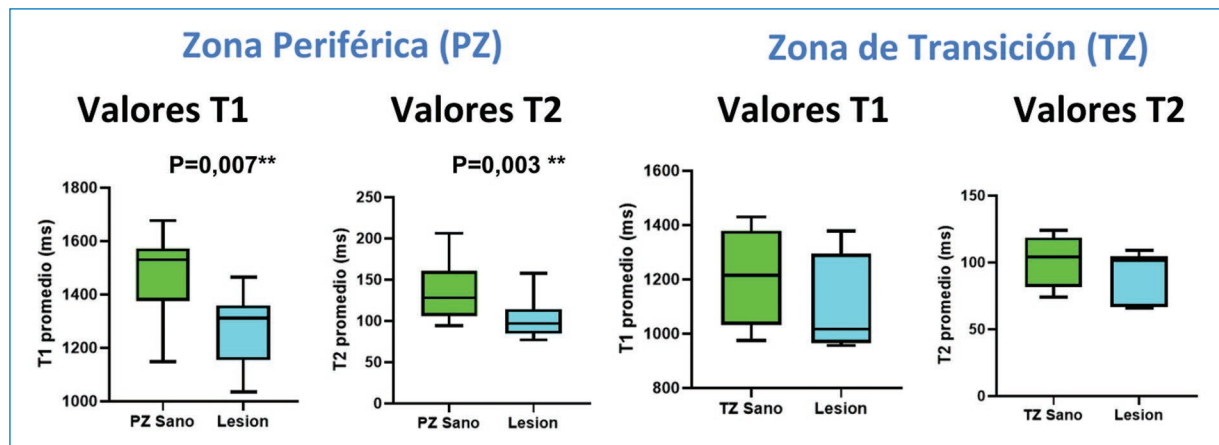


Figura 6. Box-plots con los valores promedio volumétricos tanto de tejido prostático sano como de tejido sospechoso de lesión tumoral para los mapas paramétricos T1 y T2.

Tabla 4. Valores T1 y T2 obtenidos de los mapas paramétricos DESPO+ para tejido sano control y lesiones de cáncer de próstata en la zona periférica

Tipo de muestra	Segmento prostático	Valores T1 (ms)	Valores T2 (ms)
Control	Base	1422 ± 190	122 ± 25
	Medio	1386 ± 202	136 ± 24
	Ápex	1302 ± 194	137 ± 24
Control	Volumétrico	1383 ± 177	135 ± 23
Lesión	Volumétrico	1284 ± 130	102 ± 22
p (comparación de tejido sano y lesión)		0,007	0,003

Los datos se expresan como promedio ± desviación estándar.

Tabla 5. Valores T1 y T2 obtenidos de los mapas paramétricos DESPO+ para tejido prostático sano y lesiones de cáncer de próstata en la zona de transición

Tipo de muestra	Segmento prostático	Mapa paramétrico T1 (ms)	Mapa paramétrico T2 (ms)
Control	Base	1222 ± 202	99 ± 14
	Medio	1164 ± 159	106 ± 14
Control	Volumétrico	1138 ± 174	102 ± 13
Lesión	Volumétrico	1092 ± 194	91 ± 19
p (comparación de tejido sano y lesión)		0,39	0,47

Los datos se expresan como promedio ± desviación estándar.

Valores T2 en tejido sano

En la PZ, 38 pacientes se mantuvieron dentro de 105-200 ms y los dos restantes presentaron valores por debajo del límite inferior. En la TZ, 32 pacientes se mantuvieron dentro de 60-110 ms o con valores levemente por sobre el rango (menos de 5 ms por encima del límite superior), y los ocho restantes presentaron valores por sobre el límite superior.

El análisis segmentario mostró en la PZ unos valores promedio de 122 ± 25 ms en la base, 136 ± 24 ms en la zona media y 137 ± 24 ms en el ápex, con un valor volumétrico de 135 ± 23 ms, observando diferencias significativas entre el ápex y la base ($p = 0,006$), entre la zona media y la base ($p = 0,01$), y entre el volumen total y la base ($p = 0,02$). En la TZ, los valores fueron 99 ± 14 ms en la base, 106 ± 14 ms en la zona media y 102 ± 13 ms en el volumen total, con diferencias significativas entre la porción media y la base ($p = 0,02$).

Valores de T1 y T2 en lesiones sospechosas

En cuanto al tejido tumoral, se observó que los valores promedio de T1 y T2 fueron consistentemente más bajos en comparación con el tejido sano en la PZ (Fig. 6).

En la PZ, el valor promedio del tejido sospechoso fue 1284 ± 130 ms para T1 ($p = 0,007$) y 102 ± 22 ms para T2 ($p = 0,003$). En la TZ, el valor promedio del tejido sospechoso fue 1092 ± 194 ms para T1 ($p = 0,39$) y 91 ± 19 ms para T2 ($p = 0,47$).

Discusión

Nuestro estudio evaluó prospectivamente una cohorte de pacientes chilenos con sospecha clínica de PCa mediante MRImp de 3T, incorporando la nueva secuencia cuantitativa DESPO+ que permite la obtención de mapas paramétricos de T1/T2 en la glándula prostática. Esta técnica demostró ser clínicamente viable y consistente con los valores descritos en la literatura, reforzando su potencial para integrarse a la mpMRI y a los parámetros clínicos e histopatológicos.

Uno de los principales hallazgos fue la adecuada concordancia de los valores de T1 y T2 obtenidos en tejido sano con los rangos de referencia, especialmente en la PZ (100% en T1 y 90% en T2)¹⁰. Los casos fuera de rango para T2 tendieron a subestimarse, lo que concuerda con los estudios que destacan las limitaciones técnicas de las secuencias basadas en SSFP (*steady-state free precession*), susceptibles a artefactos de banda y *off-resonance*, que pueden inducir errores en la estimación de T2¹³⁻¹⁵, así como efectos de transferencia de magnetización y gradientes concomitantes que pueden subestimar los valores T2^{16,17}.

En la TZ se observó menor concordancia (77% para T1 y 80% para T2), con tendencia a la subestimación de T1 y sobrestimación de T2. Estas diferencias podrían relacionarse con la complejidad multicompartimental de esta zona y las limitaciones metodológicas de DESPO+, donde los métodos de mapeo de T1 basados en *spoiled gradient echo* pueden ser susceptibles a sesgos por un intercambio rápido entre compartimentos con distintos tiempos de relajación¹⁸. Esto puede derivar en una subestimación sistemática de T1 en regiones ricas en componentes glandulares, como la TZ.

La sobrestimación de T2 en la TZ podría explicarse por el perfil de pulso de radiofrecuencia y la homogeneidad del campo B1, que son aspectos clave en las secuencias SSFP¹⁹. En conjunto, estos hallazgos refuerzan la necesidad de considerar las características tisulares específicas y las limitaciones técnicas de cada secuencia de DESPO+.

Se evidenció una significativa variabilidad segmentaria dentro de la próstata. En la PZ, para T1 se observaron diferencias significativas entre el ápex y la base, y entre el ápex y el volumen total, mientras que para T2 se observaron entre el ápex y la base, entre la porción media y la base, y entre el volumen total y la base,

en concordancia con estudios previos que han reportado valores que varían debido a las diferencias histológicas de los componentes glandulares y estromales¹². En la TZ se detectaron diferencias significativas de valores T2 entre la porción media y la base, sin diferencias significativas en los mapas T1, lo que traduce una mayor homogeneidad glandular^{12,20}.

Estas observaciones coinciden con la literatura, que describe discrepancias marcadas entre zonas (PZ vs. TZ) y variaciones más sutiles intrazonales^{12,18-21}, pues PZ presenta valores más altos que TZ tanto en tejido sano como en tejido con patología prostática^{12,18-21}, aspectos clave al establecer umbrales diagnósticos confiables.

Las lesiones sospechosas mostraron valores de T1 y T2 menores y más homogéneos que el tejido sano. En la PZ, las lesiones presentaron disminución de T2 y también diferencias significativas en T1. Estos resultados son concordantes con diversos estudios²²⁻³⁰ en los que se ha visto utilidad en diferenciar entre tejido sano y sospechoso de PCa.

Esta reducción se atribuye a la mayor densidad celular y el menor contenido de agua libre en el tejido tumoral. Asimismo, en la TZ los valores en cáncer son menores que los observados en condiciones benignas, como hiperplasia o prostatitis^{24,26,29,30}. De manera adicional, los valores T2 han mostrado utilidad diagnóstica para distinguir entre PCa y prostatitis crónica, con áreas bajo la curva comparables al mapa ADC²⁶⁻³⁰.

En la TZ no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre el tejido sano y las lesiones. Esta falta de diferenciación puede deberse al reducido tamaño muestral o al menor contraste en las propiedades de relajación³¹.

Limitaciones

Este estudio presenta algunas limitaciones. En primer lugar, el tamaño muestral fue reducido, lo que podría limitar la capacidad de extrapolar los hallazgos. En segundo lugar, no se contó con una cohorte externa de validación, por lo que la reproducibilidad y su aplicabilidad clínica en otros contextos aún deben ser evaluadas. En tercer lugar, el procesamiento de las imágenes obtenidas requiere un *hardware* computacional robusto, lo que puede representar una barrera para su implementación en centros con recursos técnicos limitados. Finalmente, la generalización de esta

técnica a equipos de resonancia magnética distintos –especialmente entre 1,5 y 3 T, así como entre diferentes fabricantes– requerirá estudios adicionales.

Conclusiones

Este estudio valida prospectivamente la técnica DESPO+ en el estudio de PCa, la cual demora menos tiempo de adquisición, aporta datos cuantitativos y disminuye la variabilidad en la interpretación clínica, con utilidad para discriminar entre tejido sano y patológico. Además, este estudio propone unos valores poblacionales de referencia tanto de forma volumétrica como en los distintos sectores prostáticos.

Financiamiento

Los autores declaran haber recibido financiamiento para este estudio con los números 1210468 Fondecyt Regular y ANID-IHEALTH ICN 2021_004.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable, de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Los procedimientos fueron autorizados por el Comité de Ética de la institución.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. Los autores han seguido los protocolos de su institución para acceder a los datos de las historias clínicas. Se ha obtenido el consentimiento informado de los pacientes y se cuenta con la aprobación del Comité de Ética. Se han seguido las recomendaciones de las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que no se utilizó ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción ni la creación de contenido de este manuscrito.

Referencias

- Sandhu S, Moore CM, Chiong E, Beltran H, Bristow RG, Williams SG. Prostate cancer. *Lancet*. 2021;398:1075-90.
- Global Cancer Observatory: Cancer Today (versión 1.1). Lyon: International Agency for Research on Cancer; 2024. (Consultado el 10-03-2025.) Disponible en: <https://gco.iarc.who.int/today>

- Cornford P, van den Bergh RCN, Briers E, Van den Broeck T, Brunkhorst O, Darraugh J, et al. EAU-EANM-ESTRO-ESUR-ISUP-SIOG Guidelines on Prostate Cancer. Edn. presented at the EAU Annual Congress Paris 2024. Arnhem: EAU Guidelines Office; 2024. ISBN 978-94-92671-23-3. Disponible en: <https://uroweb.org/guidelines/prostate-cancer>
- Turkbey B, Rosenkrantz AB, Haider MA, Padhani AR, Villeirs G, Macura KJ, et al. Prostate imaging reporting and data system Version 2.1: 2019 Update of prostate imaging reporting and data system Version 2. *Eur Urol*. 2019;76:340-51.
- Wei JT, Barocas D, Carlsson S, Coakley F, Eggen S, Etzioni R, et al. Early detection of prostate cancer: AUA/SUO guideline part I: prostate cancer screening. *J Urol*. 2023;210:45-53.
- El-Shater Bosaily A, Parker C, Brown LC, Gabe R, Hindley RG, Kaplan R, et al.; PROMIS Group. PROMIS-Prostate MR imaging study: a paired validating cohort study evaluating the role of multi-parametric MRI in men with clinical suspicion of prostate cancer. *Contemp Clin Trials*. 2015;42:26-40.
- Hugosson J, Godtman RA, Wallstrom J, Axcrone U, Bergh A, Egevad L, et al. Results after four years of screening for prostate cancer with PSA and MRI. *N Engl J Med*. 2024;391:1083-95.
- Wei CG, Zhang YY, Pan P, Chen T, Yu HC, Dai GC, et al. Diagnostic accuracy and interobserver agreement of PI-RADS Version 2 and Version 2.1 for the detection of transition zone prostate cancers. *AJR Am J Roentgenol*. 2021;216:1247-56.
- Rosenkrantz AB, Ginocchio LA, Cornfeld D, Froemming AT, Gupta RT, Turkbey B, et al. Interobserver reproducibility of the PI-RADS Version 2 Lexicon: a multicenter study of six experienced prostate radiologists. *Radiology*. 2016;280:793-804.
- Coronado R, Castillo-Passi C, Besa C, Irrarrazaval P. Fast and accessible T2 mapping using off-resonance corrected DESPOT2 with application to 3D prostate. *Magn Reson Imaging*. 2024;109:227-37.
- van Leenders GJLH, van der Kwast TH, Grignon DJ, Evans AJ, Kristiansen G, Kweldam CF, et al.; ISUP Grading Workshop Panel Members. The 2019 International Society of Urological Pathology (ISUP) Consensus Conference on Grading of Prostatic Carcinoma. *Am J Surg Pathol*. 2020;44:e87-99.
- de Oliveira E, Qiaom P, Griswold M, Chen Y, Bittencourt L. Assessment of prostate cancer with MR fingerprinting: histopathologic correlation and diagnostic performance. *Radiology*. 2023;307:e222287.
- Deoni SC. Transverse relaxation time (T2) mapping in the brain with off-resonance correction using phase-cycled steady-state free precession imaging. *J Magn Reson Imaging*. 2009;30:411-7.
- Jutras JD, Wachowicz K, De Zanche N. Analytical corrections of banding artifacts in driven equilibrium single pulse observation of T2 (DESPOT2). *Magn Reson Med*. 2016;76:1790-804.
- Hofstetter LW, Morrell G, Kaggie J, Kim D, Carlston K, Lee VS. T2* measurement bias due to concomitant gradient fields. *Magn Reson Med*. 2017;77:1562-72.
- Wu PH, Cheng CC, Wu ML, Chao TC, Chung HW, Huang TY. Effects of RF profile on precision of quantitative T2 mapping using dual-echo steady-state acquisition. *Magn Reson Imaging*. 2014;32:102-6.
- Deoni SC, Rutt BK, Jones DK. Investigating the effect of exchange and multicomponent T1 relaxation on the short repetition time spoiled steady-state signal and the DESPOT1 T1 quantification method. *J Magn Reson Imaging*. 2007;25:570-8.
- Yu AC, Badve C, Ponsky LE, Pahwa S, Dastmalchian S, Rogers M, et al. Development of a combined MR fingerprinting and diffusion examination for prostate cancer. *Radiology*. 2017;283:729-38.
- Panda A, Obmann VC, Lo WC, Margevicius S, Jiang Y, Schluchter M, et al. MR fingerprinting and ADC mapping for characterization of lesions in the transition zone of the prostate gland. *Radiology*. 2019;292:685-94.
- Shiradkar R, Panda A, Leo P, Janowczyk A, Farre X, Janaki N, et al. T1 and T2 MR fingerprinting measurements of prostate cancer and prostatitis correlate with deep learning-derived estimates of epithelium, lumen, and stromal composition on corresponding whole mount histopathology. *Eur Radiol*. 2021;31:1336-46.
- Hepp T, Kalmbach L, Kolb M, Martirosian P, Hilbert T, Thaiss WM, et al. T2 mapping for the characterization of prostate lesions. *World J Urol*. 2022;40:1455-61.
- Klingebiel M, Schimmöller L, Weiland E, Franiel T, Jannusch K, Kirchner J, et al. Value of T2 mapping MRI for prostate cancer detection and classification. *J Magn Reson Imaging*. 2022;56:413-22.
- Mai J, Abubrig M, Lehmann T, Hilbert T, Weiland E, Grimm MO, et al. T2 mapping in prostate cancer. *Invest Radiol*. 2019;54:146-52.
- Cui Y, Han S, Liu M, Wu PY, Zhang W, Zhang J, et al. Diagnosis and grading of prostate cancer by relaxation maps from synthetic MRI. *J Magn Reson Imaging*. 2020;52:552-64.
- Baur ADJ, Hansen CM, Rogasch J, Posch H, Elezurtaj S, Maxeiner A, et al. Evaluation of T1 relaxation time in prostate cancer and benign prostate tissue using a modified look-locker inversion recovery sequence. *Sci Rep*. 2020;10:3121.

26. Tamada T, Sone T, Jo Y, Toshimitsu S, Yamashita T, Yamamoto A, et al. Apparent diffusion coefficient values in peripheral and transition zones of the prostate: comparison between normal and malignant prostatic tissues and correlation with histologic grade. *J Magn Reson Imaging*. 2008;28:720-6.
27. Delongchamps NB, Rouanne M, Flam T, Beuvon F, Liberatore M, Zerbib M, et al. Multiparametric magnetic resonance imaging for the detection and localization of prostate cancer: combination of T2-weighted, dynamic contrast-enhanced and diffusion-weighted imaging. *BJU Int*. 2011;107:1411-8.
28. Bucher AM, Egger J, Dietz J, Strecker R, Hilbert T, Frodl E, et al. Value of MRI - T2 mapping to differentiate clinically significant prostate cancer. *J Imaging Inform Med*. 2024;37:3304-15.
29. Kurhanewicz J, Vigneron D, Carroll P, Coakley F. Multiparametric magnetic resonance imaging in prostate cancer: present and future. *Curr Opin Urol*. 2008;18:71-7.
30. Chen M, Dang HD, Wang JY, Zhou C, Li SY, Wang WC, et al. Prostate cancer detection: comparison of T2-weighted imaging, diffusion-weighted imaging, proton magnetic resonance spectroscopic imaging, and the three techniques combined. *Acta Radiol*. 2008;49:602-10.
31. Zhang S, Wan J, Xu Y, Huo L, Xu L, Xia J, et al. Predictive value of multiparametric magnetic resonance imaging (T2-weighted imaging and apparent diffusion coefficient) for pathological grading of prostate cancer: a meta-analysis. *Int Braz J Urol*. 2025;51:e20240509.

Filtros de cobre en angiografía y radiación secundaria: un estudio experimental

Copper filters in angiography and secondary radiation: an experimental study

Claudio Cuéllar-Fritis¹, Martín Abarca-Arredondo¹, Vicente Córdova-Jorquera¹, Pablo Nilo-Aguilera¹, Vicente Lobos-Valladares¹, Rocío Valdivia-Vásquez¹, Cristóbal Guerrero-Lara¹, Camila Cortés-Barrera², Sebastián Pereira², Eduardo Espinoza-Parra³ y Marvin Querales^{1,4*}

¹Escuela de Tecnología Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso, Valparaíso; ²Servicio de Imagenología, Hospital de Urgencia Asistencia Pública; ³Gerencia de Administración, Protección Radiológica Ltda. Santiago; ⁴Centro Interdisciplinario de Investigación Biomédica e Ingeniería para la Salud (MEDING), Universidad de Valparaíso, Valparaíso. Chile

Resumen

Introducción: En cardiología intervencionista, los filtros de cobre reducen la dosis al paciente, pero su efecto sobre el trabajador ocupacionalmente expuesto es incierto. **Objetivo:** Evaluar el efecto del uso de filtros de cobre sobre las variaciones absolutas porcentuales (VAP) de las tasas de dosis entre los puestos de trabajo del médico y el tecnólogo médico durante procedimientos de cardiología intervencionista. **Material y métodos:** Se realizó un estudio experimental con un fantoma geométrico de polimetilmetacrilato y cámaras de ionización calibradas. Se midieron tasas de dosis en las posiciones del médico y del tecnólogo durante fluoroscopia (con filtros) y cineangiografía (sin filtros), en distintas proyecciones angiográficas y frecuencias, obteniendo las VAP en cada caso. **Resultados:** La cineangiografía presentó las mayores VAP, sin diferencias entre frecuencias. En fluoroscopia, la VAP disminuyó significativamente al aumentar el espesor del filtro, sin cambios cuando este se mantuvo constante. **Conclusiones:** A nivel experimental, el uso de filtros de cobre en fluoroscopia se asocia a una reducción de las VAP entre el médico intervencionista y el tecnólogo médico, sugiriendo una redistribución de la radiación dispersa. Estos resultados aportan evidencia preliminar para la optimización de la protección radiológica ocupacional y respaldan la necesidad de estudios en escenarios clínicos reales.

Palabras clave: Intervención coronaria percutánea. Fluoroscopia. Cineangiografía. Dosis de radiación. Exposición ocupacional. Protección radiológica.

Abstract

Introduction: In interventional cardiology, copper filters reduce patient radiation dose; however, their impact on occupationally exposed workers remains uncertain. **Objective:** To evaluate the effect of copper filter utilization on the absolute percentage variations (APVs) of dose rates between the work positions of the interventional cardiologist and the radiologic technologist during interventional cardiology procedures. **Material and methods:** An experimental study was conducted using a polymethyl methacrylate geometric phantom and calibrated ionization chambers. Dose rates were measured at the physician and technologist positions during fluoroscopy (with filters) and cineangiography (without filters) under various angiographic

*Correspondencia:

Marvin Querales
E-mail: marvin.querales@uv.cl

Fecha de recepción: 23-04-2025

Fecha de aceptación: 02-07-2026

DOI: 10.24875/AJI.25000026

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):186-195

www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

projections and acquisition frequencies, and APVs were calculated for each condition. **Results:** Cineangiography showed the highest APVs, with no significant differences between acquisition frequencies. In fluoroscopy, APV decreased significantly with increasing copper filter thickness, whereas no changes were observed when filter thickness remained constant. **Conclusions:** At the experimental level, the use of copper filters in fluoroscopy is associated with a reduction in APVs between the interventional cardiologist and the radiologic technologist, suggesting a redistribution of scattered radiation. These findings provide preliminary evidence to support the optimization of occupational radiological protection and highlight the need for further validation in real clinical settings.

Keywords: Percutaneous coronary intervention. Radiation dosage. Occupational exposure. Fluoroscopy. Cineradiography. Radiation protection.

Introducción

La cardiología intervencionista es una subespecialidad de la cardiología que incluye, entre otros, procedimientos de angiografía y hemodinamia, y en la cual los trabajadores ocupacionalmente expuestos (TOE) reciben mayores dosis de radiación, en comparación con otras especialidades hospitalarias¹. Este hecho se debe principalmente a la proximidad de los TOE al tubo de rayos X y a la fuente de radiación dispersa generada en el paciente y que constituye la principal fuente de irradiación ocupacional².

En el intervencionismo coronario predominan dos modalidades de adquisición de imágenes: la fluoroscopia y la cineangiografía. La fluoroscopia se emplea tanto en procedimientos diagnósticos como terapéuticos; proporciona imágenes en tiempo real mediante pulsos por segundo, lo que implica exposiciones prolongadas y dosis acumulativas relevantes para pacientes y TOE³. La cineangiografía, en cambio, se utiliza con tiempos mucho más reducidos, sin embargo emplea fotogramas por segundo (*frames/s*), que corresponden a imágenes fijas dentro de una secuencia en movimiento⁴, donde la dosis de radiación por fotograma puede ser 15 veces mayor que en la fluoroscopia⁵.

Durante un procedimiento cardiológico, un intervencionista puede recibir una dosis efectiva que varía entre 1,2 y 2,3 microsieverts (μSv) dependiendo del acceso empleado⁶. Esta dosis, si bien puede parecer baja, es significativa considerando la cantidad de procedimientos que un intervencionista realiza al año. Por otro lado, la dosis efectiva recibida por los pacientes fluctúa según la complejidad y la duración del procedimiento (así como la experiencia del operador), con un promedio que varía alrededor de 2 milisieverts (mSv)⁷, pudiendo superar ampliamente este valor en casos complejos. Cabe destacar que la duración promedio de los procedimientos y el número de intervenciones han incrementado en los últimos años⁸.

Ante esta realidad, se han desarrollado estrategias para disminuir la dosis de radiación ionizante recibida por los pacientes. Una de estas estrategias, principalmente en la modalidad de fluoroscopia, es el uso de filtros de diferentes espesores interpuestos en el haz de radiación del tubo de rayos X⁹. Estos filtros, generalmente compuestos de cobre o aluminio, atenúan principalmente los rayos X de baja energía, contribuyendo a la homogenización energética del haz y, por ende, a la reducción de la dosis absorbida en el paciente. Aunque el uso de filtros disminuye la radiación recibida por los pacientes¹⁰, su impacto en la dosis recibida por los TOE no está consensuado. De hecho, la literatura presenta resultados contradictorios: algunos estudios señalan que los filtros benefician exclusivamente al paciente y aumentan la radiación dispersa hacia el TOE¹¹⁻¹⁴; otros, en cambio, evidencian que el uso de filtros reduce la radiación dispersa, beneficiando tanto al paciente como al TOE^{9,15}.

Más allá de la magnitud absoluta de la dosis, durante los procedimientos intervencionistas existe una marcada heterogeneidad espacial de la radiación dispersa y su nivel energético, lo que se traduce en diferencias relevantes en las tasas de dosis entre los distintos puestos de trabajo alrededor del paciente³. En este contexto, el uso de filtros de cobre podría no solo modificar la dosis total, sino también alterar la distribución relativa de la radiación dispersa en la sala, influyendo en la diferencia de exposición entre el médico intervencionista y los demás TOE. Sin embargo, este efecto ha sido escasamente abordado. En este sentido, el objetivo de este estudio fue evaluar experimentalmente el efecto del uso y espesor de filtros de cobre sobre las variaciones porcentuales de tasas de dosis de radiación entre los puestos de trabajo del médico intervencionista y del tecnólogo médico durante procedimientos simulados de cardiología intervencionista, bajo condiciones controladas.

La mayor complejidad y frecuencia de los procedimientos de cardiología intervencionista aumenta la

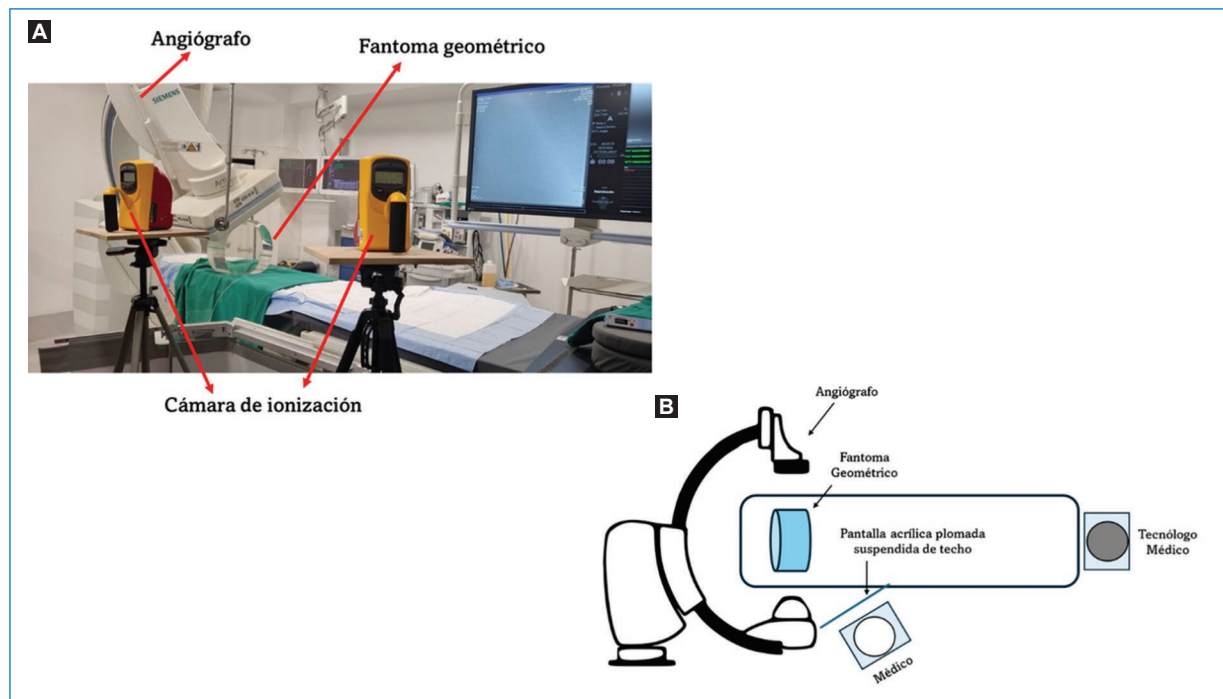


Figura 1. A: organización de equipos y materiales utilizados en el ensayo experimental. B: diagrama que muestra la distribución de las cámaras de ionización en relación con las posiciones de los trabajadores ocupacionalmente expuestos.

exposición de los TOE a radiación ionizante, lo que resulta preocupante ante el creciente número de casos de cataratas, cáncer cerebral y otras enfermedades asociadas¹. Es por ello que la evaluación del efecto de filtros de cobre sobre las variaciones porcentuales de dosis de radiación entre los puestos de trabajo permite aportar evidencia experimental orientada a comprender cómo decisiones técnicas del sistema de adquisición influyen en la distribución de la radiación dispersa dentro del pabellón, contribuyendo a la optimización de la protección radiológica ocupacional en cardiología intervencionista.

Material y métodos

Diseño del estudio

Se desarrolló un estudio experimental *in vitro*, utilizando un fantoma geométrico, orientado a reproducir un procedimiento habitual de intervencionismo coronario del pabellón de hemodinamia del Hospital de Urgencia Asistencia Pública (HUAP) de Santiago, Chile. El escenario experimental se configuró recreando la disposición del pabellón clínico (Fig. 1), integrando los materiales, equipos y condiciones operativas descritos

a continuación, conforme a los principios de transparencia y reproducibilidad promovidos por la EQUATOR Network.

Fantoma experimental

El fantoma empleado correspondió a un cilindro homogéneo de polimetilmetacrilato (PMMA) de 150 mm de grosor y 320 mm de diámetro, marca PTW, modelo Freiburg (N/S: T40027), procedente de Alemania. El material, con densidad equivalente a tejido blando (7 g/cm²), representa aproximadamente un 70% del contenido de agua en el cuerpo humano. Su uso no presentó restricciones técnicas dado que el PMMA es reconocido por la *International Commission on Radiation Units and Measurements* (ICRU) como material de referencia universal en dosimetría, por su similitud radiológica con los tejidos blandos (ICRU Reports 2, 24 y 64). Aunque este fantoma no reproduce la longitud de un paciente real y, por tanto, puede sobreestimar la dosis en posiciones distales, es ampliamente utilizado en estudios experimentales *in vitro* debido a su validez como material de referencia y aceptación internacional en investigaciones dosimétricas.

Equipo generador de radiación ionizante-rayos X y proyecciones utilizadas

Se empleó un angiógrafo Siemens modelo Artis Zee, perteneciente al HUAP en la modalidad de fluoroscopia y cineangiografía. Para el caso de fluoroscopia se utilizaron las frecuencias de 7,5 y 15 pulsos por segundo (pulsos/s), en las cuales el equipo aplica automáticamente un filtro de cobre con un espesor de 0,2 o 0,3 mm, según la proyección utilizada, lo que impide establecer un valor fijo *a priori* para la realización de los ensayos. En el caso de la cineangiografía, se utilizaron frecuencias de 15 y 30 fotogramas por segundo (frames/s); sin embargo, esta modalidad en el equipo utilizado no emplea filtros.

Las proyecciones angiográficas seleccionadas correspondieron a las utilizadas habitualmente en el HUAP: oblicua anterior izquierda (OAI) a 30°, craneal (CRAN) anteroposterior (AP) a 30°, oblicua anterior derecha (OAD) a 30°, OAD a 10° con CRAN a 30°, OAI a 30° con CRAN a 30°, OAI a 45° con caudal (CAU) a 40°, OAD a 20° con CAU a 20° y CAU AP a 40°. Antes de realizar las mediciones, se llevó a cabo un control de calidad para verificar los factores de exposición, como kV, mA, tiempo de exposición y dosis de exposición en Gy/cm² utilizando un electrómetro marca RADCAL, modelo AccuGold+ TouchPro, con dos sensores de estado sólido (AGMS-DM+ y DDX6-WL).

Posiciones de los puestos de trabajo de los trabajadores ocupacionalmente expuestos

Se recrearon las posiciones habituales del médico intervencionista y del tecnólogo médico durante procedimientos de cardiología intervencionista en el HUAP, considerando la configuración específica de la sala de hemodinamia, las dimensiones del equipo y la disposición del personal durante la práctica clínica habitual. Las distancias se definieron a partir de mediciones realizadas desde el centro del fantoma hasta la posición ocupada por los TOE, adoptándose como valores promedio 107 cm para el médico intervencionista y 250 cm para el tecnólogo médico. Estas posiciones representan, respectivamente, al operador más cercano y al más alejado del tubo de rayos X durante el procedimiento. Dado que la ubicación del personal depende de las características propias de cada sala de angiografía y del tipo de procedimiento realizado, las distancias empleadas en este estudio reflejan la

práctica habitual del pabellón evaluado y no pretenden ser extrapolables a otros entornos clínicos.

Mediciones dosimétricas

Para cada modalidad de adquisición se registró por triplicado la tasa de dosis en milisieverts por hora (mSv/h) en los puestos de trabajo de los TOE, colocando cámaras de ionización marca Fluke modelo 451P, fabricadas en EE.UU., a la altura del tórax de los TOE, definida para este estudio a 140 cm desde el piso. Estas tres réplicas consecutivas por condición se realizaron para asegurar la estabilidad del haz y mitigar la variabilidad instrumental, utilizándose el valor promedio como la observación representativa para cada escenario experimental. Las mediciones ocupacionales se realizaron con detectores previamente calibrados por el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes de la Comisión Chilena de Energía Nuclear (LMRI-CCHEN), en la magnitud operacional equivalente de dosis ambiental H*(10), con trazabilidad al sistema nacional de referencia (NPL 303/227). Esta magnitud corresponde al estándar internacional utilizado para evaluar la exposición externa del personal, donde el valor 10 especifica que la dosis es estimada a una profundidad teórica de 10 milímetros bajo la piel, punto en el que se simula la penetración de la radiación en los órganos internos humanos más sensibles para las radiaciones fuertemente penetrantes como es el caso de los rayos X. La incertidumbre asociada a las mediciones corresponde a la propia del detector, del orden del 20%, consistente con mediciones en campos de radiación dispersa. Durante cada medición, se emitió radiación durante cinco segundos, y los datos recolectados se tabularon en planillas de datos en formato Excel.

Análisis estadístico

Las variables dependientes del estudio correspondieron a las tasas de dosis registradas en las posiciones del médico intervencionista y del tecnólogo médico, así como a la variación porcentual absoluta (VAP) de la tasa de dosis medida en la posición del tecnólogo médico en relación con la del médico intervencionista. Las variables independientes, consideradas como factores de análisis, incluyeron la posición del TOE, la modalidad de adquisición (fluoroscopia y cineangiografía), la frecuencia de emisión de disparos de rayos X, el espesor del filtro de cobre empleado en fluoroscopia y las proyecciones radiológicas.

La variable cuantitativa tasa de dosis se resumió en tablas mediante estadísticos descriptivos, utilizando promedio $\pm$ desviación estándar, así como mediana y rango intercuartílico, con el fin de caracterizar la tendencia central, la dispersión y la distribución de los datos. Para cada una de las ocho proyecciones y ambas posiciones de los TOE, se compararon las tasas de dosis a distintas frecuencias de disparos de rayos X en la adquisición (7,5 vs. 15 pulsos/s en fluoroscopia; 15 vs. 30 *frames/s* en cineangiografía) mediante la prueba t de Student para muestras independientes, previa verificación de los supuestos de normalidad (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). Se utilizó una hipótesis alternativa bilateral para evaluar la existencia de diferencias estadísticamente significativas. El supuesto de independencia se sustentó en que cada proyección angiográfica y modalidad técnica constituye una configuración física e independiente del arco en C, sin arrastre de efectos ni mediciones repetidas en el tiempo sobre una misma unidad muestral.

La VAP se calculó como una medida porcentual de diferencia entre las tasas de dosis registradas en las posiciones del tecnólogo médico y del médico intervencionista para cada modalidad e intensidad de adquisición, definida como:

$$APV(\%) = \frac{|\bar{D}_{MT} - \bar{D}_{IP}|}{\bar{D}_{IP}} \times 100$$

donde D_{MT} corresponde a la tasa de dosis promedio registrada en la posición del tecnólogo médico y D_{IP} a la tasa de dosis promedio obtenida en la posición del médico intervencionista. La VAP actúa en este diseño como un índice de asimetría espacial de la radiación, donde un valor cercano a cero indica que tanto el médico como el tecnólogo están expuestos a niveles idénticos de radiación dispersa (distribución homogénea), mientras que un valor elevado de VAP refleja que un puesto de trabajo recibe significativamente más radiación que el otro debido a la configuración geométrica del haz. Los valores de VAP obtenidos se compararon entre los cuatro grupos definidos por modalidad e intensidad de adquisición (dos de fluoroscopia y dos de cineangiografía) mediante un análisis de varianza (ANOVA) de una vía, seguido de la prueba *post hoc* de Tukey, verificando los supuestos de independencia (prueba de Durbin-Watson), normalidad de los residuos (prueba de Shapiro-Wilk) y homogeneidad de varianzas (prueba de Levene). La robustez del tamaño muestral se evaluó mediante un análisis de

potencia *a posteriori*, observándose un tamaño del efecto elevado (mayor a 1) para una potencia estadística de 0,8. Con el fin de cumplir el supuesto de independencia en el ANOVA, cada observación ingresada correspondió al valor de VAP calculado a partir del promedio del triplicado de cada proyección, asegurando la consistencia del tamaño muestral.

Adicionalmente, se realizó un segundo ANOVA de una vía considerando exclusivamente la modalidad de fluoroscopia. En este análisis, las proyecciones se agruparon según la presencia o ausencia de variación en el espesor del filtro de cobre entre las intensidades de 7,5 y 15 pulsos/s, generándose nuevamente cuatro grupos de comparación. Los resultados descriptivos de la VAP se presentan gráficamente mediante diagramas de barras con barras de error.

Para todas las pruebas de hipótesis se estableció un nivel de confianza del 99%, con el objetivo de minimizar la probabilidad de error tipo I. El análisis estadístico se realizó utilizando Microsoft Excel y el entorno de *software* R (R Core Team, 2023), mediante la interfaz RStudio.

Consideraciones éticas

En esta investigación no se requirió de la evaluación de un comité de bioética, ya que no se realizaron experimentos con seres humanos ni animales. A lo largo del estudio, el equipo de trabajo tuvo un comportamiento ético y respetó los principios de integridad científica. Además, se ejercieron buenas prácticas durante todo el proceso de investigación tal como lo plantea el Código Europeo de Conducta para la Integridad en la Investigación de *All European Academies* (ALLEA)¹⁶.

Resultados

La [tabla 1](#) muestra que, en todas las proyecciones, la modalidad de cineangiografía mostró tasas de dosis significativamente mayores en ambas posiciones (médico y tecnólogo médico) al operar a 30 *frames/s*. Para el caso de la fluoroscopia, los resultados se dividieron según el espesor del filtro ([Tablas 2 y 3](#)), mostrando que, en todos los casos, la dosis fue significativamente mayor a 15 pulsos/s.

Los resultados de la VAP, considerando todas las proyecciones, se muestran en la [figura 2](#). Se observa que las diferencias porcentuales de tasas de dosis entre los puestos de trabajo del médico y tecnólogo médico fueron mayores en cineangiografía en comparación con ambas intensidades de fluoroscopia.

Tabla 1. Tasa de dosis (mSv/h) registrada por la cámara de ionización ubicada en la posición del médico intervencionista y tecnólogo médico con la modalidad de cineangiografía a diferentes proyecciones (sin utilización de filtros de cobre)

Proyección	Posición: médico intervencionista			Posición: tecnólogo médico		
	15 frames/s	30 frames/s	p	15 frames/s	30 frames/s	p
OAI 30°	3,200 ± 0,000 3,200 (3,200-3,201)	3,400 ± 0,000 3,400 (3,400-3,401)	< 0,001	15,000 ± 0,000 15,000 (15,000-15,001)	16,000 ± 0,000 16,000 (16,000-16,001)	< 0,001
CRAN AP 30°	3,467 ± 0,058 3,500 (3,450-3,500)	3,633 ± 0,058 3,600 (3,600-3,650)	< 0,001	15,267 ± 0,289 15,100 (15,100-15,350)	15,933 ± 0,231 15,800 (15,800-16,000)	< 0,001
OAD 30°	2,767 ± 0,058 2,800 (2,750-2,800)	2,903 ± 0,006 2,900 (2,900-2,905)	< 0,001	10,433 ± 0,153 10,400 (10,350-10,500)	11,433 ± 0,058 11,400 (11,400-11,450)	< 0,001
OAD 10°-CRAN 30°	4,220 ± 0,026 4,210 (4,205-4,230)	4,500 ± 0,000 4,500 (4,500-4,501)	< 0,001	18,633 ± 0,252 18,600 (18,500-18,750)	19,967 ± 0,058 20,000 (19,950-20,000)	< 0,001
OAI 30°-CRAN 30°	4,067 ± 0,058 4,100 (4,050-4,100)	4,300 ± 0,000 4,300 (4,300-4,301)	< 0,001	17,667 ± 0,306 17,600 (17,500-17,800)	18,733 ± 0,153 18,700 (18,650-18,800)	< 0,001
OAI 45°-CAU 40°	2,690 ± 0,139 2,620 (2,610-2,735)	3,110 ± 0,010 3,100 (3,105-3,116)	< 0,001	8,700 ± 0,346 8,900 (8,600-8,900)	10,000 ± 0,100 10,000 (9,950-10,050)	< 0,001
OAD 20°-CAU 20°	3,717 ± 0,029 3,700 (3,700-3,725)	3,783 ± 0,029 3,800 (3,775-3,800)	< 0,001	13,500 ± 0,100 13,500 (13,450-13,550)	14,767 ± 0,115 14,700 (14,700-14,800)	< 0,001
CAU AP 40°	2,133 ± 0,153 2,100 [2,050-2,200]	3,200 ± 0,000 3,200 [3,200-3,201]	< 0,001	6,533 ± 0,252 6,500 [6,400-6,650]	9,167 ± 0,058 9,200 [9,150-9,200]	< 0,001

Los resultados se presentan como promedio ± desviación estándar y mediana [rango intercuartílico] derivados de tres réplicas experimentales independientes por cada combinación de proyección y frecuencia técnica.

Los valores de p menores a 0,01 indican diferencias estadísticas significativas entre frecuencias mediante la prueba t de Student.

OAI: oblicua anterior izquierda; CRAN: craneal; AP: anteroposterior; OAD: oblicua anterior derecha; CAU: caudal.

Tabla 2. Tasa de dosis (mSv/h) registrada por la cámara de ionización ubicada en la posición del médico intervencionista y tecnólogo médico con las modalidades de fluoroscopia a diferentes proyecciones y espesores de filtros de cobre

Proyección	Posición médico intervencionista			Posición: tecnólogo médico		
	7,5 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	15 pulsos/s (espesor de filtro = 0,3 mm)	p	7,5 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	15 pulsos/s (espesor de filtro = 0,3 mm)	p
OAI 30°	0,178 ± 0,003 0,178 (0,177-0,180)	0,210 ± 0,000 0,210 (0,210-0,211)	< 0,001	0,693 ± 0,006 0,690 (0,690-0,695)	0,763 ± 0,006 0,760 (0,760-0,765)	< 0,001
CRAN AP 30°	0,174 ± 0,004 0,176 (0,173-0,177)	0,235 ± 0,005 0,234 (0,232-0,237)	< 0,001	0,095 ± 0,001 0,095 (0,095-0,096)	0,104 ± 0,001 0,104 (0,104-0,105)	< 0,001
OAD 30°	0,149 ± 0,001 0,149 (0,149-0,150)	0,176 ± 0,003 0,177 (0,175-0,1789)	< 0,001	0,667 ± 0,006 0,670 (0,665-0,670)	0,740 ± 0,010 0,740 (0,735-0,745)	< 0,001

Los resultados se presentan como promedio ± desviación estándar y mediana [rango intercuartílico] derivados de tres réplicas experimentales independientes por cada combinación de proyección y frecuencia técnica.

Los valores de p menores a 0,01 indican diferencias estadísticas significativas entre frecuencias mediante la prueba t de Student.

OAI: oblicua anterior izquierda; CRAN: craneal; AP: anteroposterior; OAD: oblicua anterior derecha.

Sin embargo, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas entre 15 y 30 frames/s. En contraste, en la fluoroscopia sí se evidenciaron diferencias significativas: las diferencias porcentuales a 15 pulsos/s (con filtros de cobre de 0,2 y 0,3 mm según la

proyección) fueron significativamente menores que las observadas a 7,5 pulsos/s, donde se utilizó un filtro de cobre fijo de 0,2 mm.

Considerando únicamente la modalidad de fluoroscopia (Fig. 3), en aquellas proyecciones en las que se

Tabla 3. Tasa de dosis (mSv/h) registrada por la cámara de ionización ubicada en la posición del médico intervencionista y tecnólogo médico con las modalidades de fluoroscopia a diferentes proyecciones, pero con igual espesor de filtro

Proyección	Posición: médico intervencionista			Posición: tecnólogo médico		
	7,5 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	15 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	p	7,5 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	15 pulsos/s (espesor de filtro = 0,2 mm)	p
OAD 10°-CRAN 30°	0,126 ± 0,005 0,128 (0,124-0,129)	0,242 ± 0,003 0,241 (0,241-0,243)	< 0,001	0,086 ± 0,001 0,085 (0,085-0,086)	0,118 ± 0,005 0,121 (0,117-0,121)	< 0,001
OAI 30°-CRAN 30°	0,098 ± 0,003 0,099 (0,097-0,100)	0,185 ± 0,002 0,185 (0,184-0,186)	< 0,001	0,070 ± 0,000 0,070 (0,070-0,071)	0,101 ± 0,001 0,101 (0,100-0,101)	< 0,001
OAI 45°-CAU 40°	0,443 ± 0,012 0,450 (0,440-0,450)	0,893 ± 0,012 0,900 (0,890-0,900)	< 0,001	0,273 ± 0,006 0,270 (0,270-0,275)	0,543 ± 0,006 0,540 (0,540-0,545)	< 0,001
OAD 20°-CAU 20°	0,081 ± 0,001 0,080 (0,080-0,081)	0,154 ± 0,004 0,154 (0,152-0,156)	< 0,001	0,480 ± 0,026 0,470 (0,465-0,490)	0,817 ± 0,006 0,820 (0,815-0,820)	< 0,001
CAU AP 40°	0,348 ± 0,008 0,350 (0,345-0,353)	0,703 ± 0,015 0,700 (0,695-0,710)	< 0,001	0,169 ± 0,002 0,169 (0,168-0,170)	0,323 ± 0,006 0,320 (0,320-0,325)	< 0,001

Los resultados se presentan como promedio ± desviación estándar y mediana [rango intercuartílico] derivados de tres réplicas experimentales independientes por cada combinación de proyección y frecuencia técnica.

Los valores de p menores a 0,01 indican diferencias estadísticas significativas entre frecuencias mediante la prueba t de Student.

OAI: oblicua anterior izquierda; CRAN: craneal; AP: anteroposterior; OAD: oblicua anterior derecha.

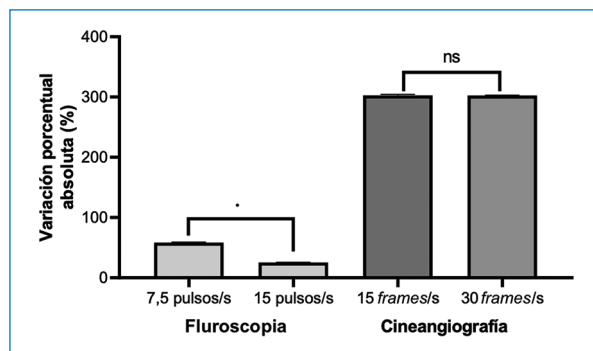


Figura 2. Variación porcentual absoluta de las tasas de dosis registradas por la cámara de ionización situada en la posición del tecnólogo médico, en comparación con la ubicada en la posición del médico intervencionista, considerando todas las proyecciones en las modalidades de fluoroscopia y cineangiografía.

*Diferencia estadísticamente significativa.

ns: diferencia estadísticamente no significativa.

modificó el espesor del filtro entre las distintas frecuencias de emisión (pulsos/s) de rayos X, los valores de VAP fueron estadísticamente superiores a los obtenidos en las proyecciones que mantuvieron un espesor constante. No obstante, dentro del grupo de proyecciones con cambio de espesor, se observó una reducción del VAP estadísticamente significativa cuando se utilizó

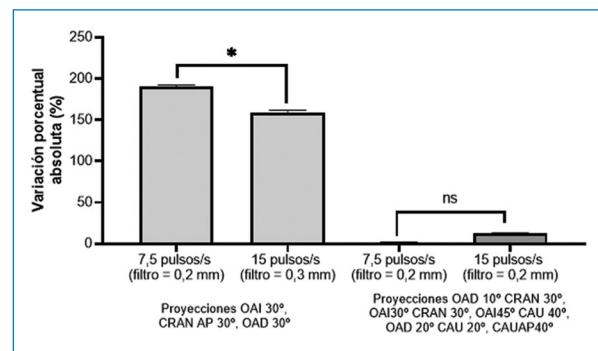


Figura 3. Variación porcentual absoluta de las tasas de dosis registradas por la cámara de ionización ubicada en la posición del tecnólogo médico, en comparación con la situada en la posición del médico intervencionista, diferenciando las proyecciones según la modificación o no del espesor del filtro de cobre en la modalidad de fluoroscopia.

*Diferencia estadísticamente significativa.

OAI: oblicua anterior izquierda; CRAN: craneal; AP: anteroposterior; OAD: oblicua anterior derecha; CAU: caudal; ns: diferencia estadísticamente no significativa.

un mayor espesor de filtro (0,3 mm). Por el contrario, al comparar las distintas frecuencias en las proyecciones con igual espesor de filtro, no se evidenciaron diferencias estadísticamente significativas entre ellas.

Discusión

Esta investigación analizó, mediante un diseño experimental, el efecto del uso de filtros de cobre sobre las VAP de las tasas de dosis entre los puestos de trabajo del médico intervencionista y del tecnólogo médico en cardiología intervencionista. En términos generales, se observó que las tasas de dosis registradas en ambos puestos aumentaron significativamente al utilizar mayores *frames/s* y *pulsos/s*, tanto en cineangiografía como en fluoroscopia, respectivamente. No obstante, el análisis central del estudio se focalizó en determinar si la magnitud de la diferencia porcentual entre ambos puestos, expresada como VAP, se modificaba en función de la modalidad de adquisición, la frecuencia de emisión de rayos X de pulso y el espesor de filtro utilizado.

Estos resultados resultan llamativos, ya que se esperaba que en la cineangiografía las diferencias entre los puestos de trabajo fueran menores, dado que esta modalidad utiliza un mayor kilovoltaje y, por ende, fotones más energéticos, lo que disminuiría la capacidad de atenuación de la pantalla acrílica plomada¹⁷. Esto debería traducirse en un aumento de la dosis en el puesto del médico y, en consecuencia, en una menor diferencia respecto al tecnólogo médico. Por el contrario, en fluoroscopia, al emplearse un kilovoltaje más bajo, se esperaba una menor transmisión de radiación a través de la pantalla acrílica y, por ende, una mayor diferencia de exposición con el tecnólogo médico. En consecuencia, y considerando que el equipo angiográfico Siemens reporta el uso de filtros de cobre solo en la modalidad de fluoroscopia y no en cineangiografía, estos resultados sugieren que la filtración podría ser un factor técnico relevante en la magnitud de las diferencias relativas de exposición ocupacional entre ambos puestos de trabajo.

Analizando más a fondo este planteamiento, en fluoroscopia, al utilizar filtros, se genera una homogeneización y endurecimiento del haz incidente, permitiendo el paso en mayor proporción de fotones de mayor energía dentro del rango del kV utilizado en el equipo angiográfico¹⁸. Este endurecimiento del haz desplaza el espectro de radiación hacia energías más altas, lo que podría generar una radiación dispersa también más energética. Como resultado, un mayor porcentaje de fotones sería capaz de atravesar la pantalla acrílica plomada que protege al médico intervencionista vs. la cantidad de fotones que inciden en dicho elemento de protección personal, haciendo que la tasa de dosis que recibe sea más similar a la del puesto de trabajo del

tecnólogo médico en la modalidad de fluoroscopia, donde este TOE no cuenta con dicho elemento. Sin embargo, esta interpretación debe entenderse como una hipótesis coherente con los principios físicos de la interacción de la radiación, y no como una demostración causal directa.

Otro aspecto que destacar es que, si bien la VAP es menor en aquellas proyecciones que utilizan un mismo espesor de filtro entre las distintas frecuencias de emisión de rayos X, este resultado podría estar influido también por la orientación del tubo de rayos X en las proyecciones analizadas¹⁹. En este sentido, no solo los espesores de filtro incidirían en la VAP, sino que también en las proyecciones consideradas la dirección del haz incidente puede atravesar espesores variables del fantoma, generando distintas atenuaciones del haz y en consecuencia, diferencias en las tasas de dosis de radiación dispersa medidas en los puestos de trabajo de los TOE analizados.

Los resultados obtenidos son difíciles de comparar con la literatura, puesto que no hay estudios que realicen una evaluación de la diferencia en dosis entre los puestos de trabajo de los TOE según la presencia o ausencia de filtros. Trabajos como los de Vano et al.²⁰ y Varghese²¹ no evalúan la diferencia entre TOE, pero sí hacen referencia a que la adición de filtración en modo de fluoroscopia disminuye la tasa de dosis para el personal, lo que indica que la colimación y la filtración pueden reducir efectivamente la exposición. Por tanto, se hace necesario aumentar el número de investigaciones que profundicen en la posible influencia del uso de filtros de cobre, donde se pueda replicar el análisis llevado a cabo en esta investigación y comparar la consistencia de los principales hallazgos.

De acuerdo con Dudhe et al.⁹, las estrategias para la reducción de la exposición a radiación en procedimientos guiados por imágenes se sustentan en el principio ALARA, que promueve mantener las dosis tan bajas como sea razonablemente posible sin comprometer la calidad diagnóstica. En cardiología intervencionista, la utilización de parámetros técnicos, como el uso de filtros de cobre, constituye una estrategia habitual de optimización orientada principalmente a la reducción de la dosis al paciente. Sin embargo, los resultados de este estudio sugieren la conveniencia de evaluar estas estrategias de manera integral, considerando también su posible impacto sobre la exposición ocupacional, particularmente en entornos de alta complejidad como las unidades de hemodinamia. En este escenario, la optimización de dosis debería contemplar no solo la reducción de la exposición individual por

procedimiento, sino también la exposición acumulativa del personal, con el fin de profundizar en la gestión del riesgo asociado tanto a efectos determinísticos como estocásticos.

Respecto a las limitaciones de este estudio, se debe considerar que el fantoma utilizado corresponde a uno de tipo geométrico, que simula una densidad similar a la del cuerpo humano, pero no refleja en su totalidad la anatomía propia de los pacientes. Por lo tanto, las tasas de dosis registradas constituyen una aproximación experimental preliminar y no corresponden directamente a un contexto clínico real, ya que la radiación dispersa generada podría comportarse de manera distinta en un tórax humano. Otra limitación del estudio fue la incapacidad de repetir y realizar nuevas mediciones en otro establecimiento con un angiógrafo distinto, lo cual hubiera proporcionado información relevante para demostrar la influencia de las distintas variables discutidas. Por último, la imposibilidad de cambiar manualmente los filtros del equipo limitó la capacidad de estudiar con más detalle los posibles efectos específicos de diferentes configuraciones de los filtros.

Entre las principales fortalezas de este estudio destaca el uso de un diseño experimental controlado, basado en equipamiento y materiales ampliamente validados en protección radiológica, junto con la recreación de condiciones operacionales y proyecciones clínicas habitualmente utilizadas en procedimientos coronarios. Asimismo, el enfoque adoptado aporta evidencia experimental poco explorada en la literatura, al centrarse en el análisis de las diferencias porcentuales de exposición entre distintos puestos de trabajo, lo que contribuye a una mejor comprensión de los factores técnicos que influyen en la distribución de la radiación dispersa y en la optimización de la protección radiológica ocupacional.

No obstante, debe considerarse que el comportamiento de las tasas de dosis registradas responde a la interacción de múltiples factores, además de la presencia y espesor de los filtros de cobre, tales como el tipo de fantoma utilizado, el campo de irradiación y la configuración de los elementos de protección radiológica, incluyendo la pantalla acrílica y el faldón plomado empleados exclusivamente en la posición del médico. En este contexto, los resultados presentados permiten identificar tendencias relevantes bajo condiciones controladas, pero también ponen de manifiesto la necesidad de estudios experimentales adicionales y observaciones clínicas que incorporen de manera sistemática estas variables, con el fin de avanzar con

prudencia en la gestión del riesgo ocupacional y la optimización de los procedimientos operativos en hemodinamia.

Conclusión

Este estudio evidenció que, bajo las condiciones experimentales controladas de la modalidad de fluoroscopia, el aumento del espesor de los filtros de cobre se asocia a una disminución en la VAP de la tasa de dosis entre las posiciones simuladas del médico intervencionista y del tecnólogo médico. Estos resultados sugieren de manera preliminar que la utilización de diferentes espesores de filtración podría influir no solo en las tasas de dosis absolutas, sino también en la distribución espacial de la radiación dispersa dentro del pabellón de hemodinamia.

Desde una perspectiva práctica, los hallazgos destacan la importancia de considerar la configuración de los filtros de cobre como un factor técnico de interés dentro de las futuras estrategias de análisis para la protección radiológica ocupacional en cardiología intervencionista. Así, la evaluación sistemática de configuraciones de filtrado adecuadas podría contribuir a la optimización de la protección entre los distintos puestos de trabajo, en concordancia con el principio ALARA. Finalmente, se plantea la necesidad de futuras investigaciones en escenarios clínicos reales y de mayor complejidad, incorporando fantasmas antropomórficos, distintos modelos de angiógrafos y configuraciones variables, con el fin de validar y extender estos hallazgos preliminares a la práctica clínica habitual.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales de pacientes ni requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial.

Los autores declaran que no utilizaron ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción de este manuscrito.

Referencias

1. Montalvo TR, Chavarín ESU. Rol de la protección radiológica en procedimientos de cardiología intervencionista. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*. 2021;7(4):13102-15e.
2. Cousins C, Miller DL, Bernardi G, Rehani MM, Schofield P, Vañó E, et al. ICRP PUBLICATION 120: Radiological Protection in Cardiology. *Annals of the ICRP*. 2013;42(1):1-125.
3. Cuellar-Fritis C, Guerrero C, Cortés C, Pereira S, Ramos-Avasola S, Querales M, et al. Impacto de las proyecciones en las tasas de dosis de radiación recibidas por trabajadores expuestos durante procedimientos de cardiología intervencionista. *Rev Chil Cardiol*. 2024;43(2):94-103.
4. Badel AE, Rico-Mesa JS, Gaviria MC, Arango-Isaza D, Hernández Chica CA. Radiación ionizante: revisión de tema y recomendaciones para la práctica. *Rev Colomb Cardiol*. 2018;25(3):222-9.
5. Olcay A, Guler E, Karaca IO, Omaygenc MO, Kizilirmak F, Olgun E, et al. Comparison of fluoro and cine coronary angiography: balancing acceptable outcomes with a reduction in radiation dose. *J Invasive Cardiol*. 2015;27(4):199-202.
6. Kobayashi T, Hirshfeld JW. Radiation exposure in cardiac catheterization. *Circ Cardiovasc Interv*. 2017;10(8):e005689.
7. Mahesh M, Ansari AJ, Mettler FA. Patient exposure from radiologic and nuclear medicine procedures in the United States and worldwide: 2009-2018. *Radiology*. 2023;307(1):e221263.
8. Kaatsch HL, Schneider J, Brockmann C, Brockmann MA, Overhoff D, Becker BV, et al. Radiation exposure during angiographic interventions in interventional radiology - risk and fate of advanced procedures. *Int J Radiat Biol*. 2022;98(5):865-72.
9. Dudhe SS, Mishra G, Parihar P, Nimodia D, Kumari A. Radiation dose optimization in radiology: a comprehensive review of safeguarding patients and preserving image fidelity. *Cureus*. 2024;16(5):e60846.
10. Davies AG, Gislason-Lee AJ, Cowen AR, Kengyelics SM, Lupton M, Moore J, et al. Does the use of additional X-ray beam filtration during cine acquisition reduce clinical image quality and effective dose in cardiac interventional imaging? *Radiat Prot Dosimetry*. 2014;162(4):597-604.
11. Sanchez RM, Vano E, Salinas P, Gonzalo N, Escaned J, Fernández JM. High filtration in interventional practices reduces patient radiation doses but not always scatter radiation doses. *Br J Radiol*. 2021;94(1117):20200774.
12. Perisinakis K, Solomou G, Stratakis J, Damilakis J. Data and methods to assess occupational exposure to personnel involved in cardiac catheterization procedures. *Physica Medica*. 2016;32(2):386-92.
13. Siraj M, Dalah EZ, Okasha MH, Abdel-Kader GI, Mohamed-Said MS, Kalanter RA, et al. Potentials of additional copper filtration on radiation dose and image quality for adults underwent digital chest X-ray imaging in Dubai Health Authority - UAE. *Radiography*. 2023;29(3):552-6.
14. Salinas P, Sanchez-Casanueva RM, Gonzalo N, A. Gil J, Salazar CH, Jimenez-Quevedo P, et al. Dose-reducing fluoroscopic system decreases patient but not occupational radiation exposure in chronic total occlusion intervention. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2021;98(5):895-902.
15. Buytaert D, Elout L, Mauti M, Drieghe B, Gheeraert P, Taeymans Y, et al. Evaluation of patient and staff exposure with state of the art X-ray technology in cardiac catheterization: a randomized controlled trial. *J Interv Cardiol*. 2018;31(6):807-14.
16. ALLEA - All European Academies. The European Code of Conduct for Research Integrity [Internet]. DE: ALLEA - All European Academies; 2023 [citado 22 de enero de 2026]. Disponible en: <https://doi.org/10.26356/ECOC>
17. Bushong SC. Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica. 12a ed. Barcelona: Elsevier; 2022. 610 p.
18. Bushong SC. Emisión de Rayos X. En: Manual de radiología para técnicos: física, biología y protección radiológica. 12a ed. Barcelona: Elsevier; 2022. pp. 121-134.
19. Roh Y, Kim J, Park H, Kim J, Ryu D, Chun K, et al. Effect of exposure angulation on the occupational radiation exposure during cardiac angiography: simulation study. *Int J Environ Res Public Health*. 2021;18(15):8097.
20. Vano E, Sanchez RM, Fernandez JM, Bartal G, Canevaro L, Lykawka R, et al. A set of patient and staff dose data for validation of Monte Carlo calculations in interventional cardiology. *Radiat Prot Dosimetry*. 2015;165(1-4):235-9.
21. Livingstone RS, Varghese A. Radiation safety culture: the way forward in practicing interventional radiology. *J Clin Int Radiol ISVIR*. 2017;01(2):100-6.

Estilos de vida saludable en estudiantes de tecnología en radiología e imágenes diagnósticas

Healthy lifestyles among students of radiology and diagnostic imaging technology

Gustavo Díaz^{1,2,3*}  y Marilly Rojas^{1,2} 

¹Dirección de Investigación, Fundación Tecnológica Autónoma de Bogotá; ²Grupo de investigación Diseño, Computación, Competitividad y Salud FABA-UNDES; ³Facultad de Ciencias, Programa de Nutrición y Dietética, Universidad FUCS. Bogotá, Colombia

Resumen

Introducción: La combinación de exposición a radiación ionizante y hábitos de vida no saludables puede potenciar el riesgo de enfermedades crónicas en profesionales de radiología. **Objetivo:** Describir los comportamientos de salud y factores de riesgo modificables en estudiantes de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas. **Material y métodos:** se desarrolló un estudio observacional y transversal en 93 estudiantes de primer y segundo año. Se aplicó el cuestionario validado CEVJU-R y se analizaron diferencias por sexo y año académico. **Resultados:** El sedentarismo (71%), el consumo de alcohol (83%) y el uso de cigarrillo (27%) son prevalentes en los estudiantes de tecnología en radiología. Las mujeres presentaron menor actividad física (39 vs. 18%; $p = 0,058$), pero mayor uso de bloqueador solar (63 vs. 20%) ($p = 0,001$) y anticonceptivos (57 vs. 21%) ($p = 0,003$). Los hombres reportaron más consumo de tabaco (41 vs. 14%; $p = 0,015$). El 56% incluyó frutas y verduras en su dieta y el 43% alcanzó una adecuada hidratación. Se observó pobre calidad del sueño, especialmente en segundo año ($p = 0,013$). **Conclusiones:** Los hallazgos revelan estilos de vida inadecuados que podrían amplificar los riesgos derivados de la exposición ocupacional a radiación. Se requieren intervenciones universitarias integrales para promover estilos de vida saludables.

Palabras clave: Estilo de vida saludable. Radiología. Estudiantes universitarios. Factores de riesgo. Cáncer. Comportamiento de salud.

Abstract

Introduction: The combination of ionizing radiation exposure and unhealthy lifestyle habits may increase the risk of chronic diseases among radiology professionals. **Objective:** To describe health behaviors and modifiable risk factors among students of Radiologic and Diagnostic Imaging Technology. **Material and methods:** A cross-sectional observational study was conducted in 93 first- and second-year students. The validated CEVJU-R questionnaire was applied, and differences by sex and academic year were analyzed. **Results:** Sedentary behavior (71%), alcohol consumption (83%), and cigarette use (27%) were highly prevalent in radiology students. Women reported lower levels of physical activity (39 vs. 18%; $p = 0.058$) but higher use of sunscreen (63 vs. 20%; $p = 0.001$) and contraceptives (57 vs. 21%; $p = 0.003$). Men showed a higher prevalence of smoking (41 vs. 14%; $p = 0.015$). Overall, 56% reported regular consumption of fruits and vegetables, and 43% achieved adequate hydration. Poor sleep quality was observed, particularly among second-year students ($p = 0.013$). **Conclusions:** The findings reveal inadequate lifestyle patterns that may amplify the health risks associated with occupational radiation exposure. Comprehensive university-based interventions are needed to promote healthy lifestyles among radiology students.

Keywords: Healthy lifestyle. Radiology. University students. Risk factors. Cancer. Health behavior.

*Correspondencia:

Gustavo Díaz
E-mail: ndgustavodiaz@gmail.com

Fecha de recepción: 11-10-2025

Fecha de aceptación: 01-05-2026

DOI: 10.24875/AJ.25000069

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):196-204

www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La radiación ionizante se usa ampliamente en salud, sin embargo puede causar cambios en los componentes celulares y por ende generar daño tisular. Diversas investigaciones han demostrado cómo las altas dosis de radiación pueden generar cáncer, enfermedades cardiovasculares, aterosclerosis, neurodegeneración, cataratas y reducir la expectativa de vida¹. La radiación crónica a bajas dosis es usual en trabajadores de la salud, siendo los médicos y tecnólogos en radiología de las áreas de medicina nuclear los trabajadores de la salud con mayor exposición a radiación ionizante². A partir de dicha exposición, se ha determinado que en estos trabajadores el riesgo de padecer cataratas, cáncer y enfermedades cardíacas se encuentra aumentado¹.

Frente a este escenario de riesgo ocupacional, los estilos de vida saludable son una intervención costo-efectiva para la prevención de enfermedades crónicas. Por ejemplo, estudios de cohorte en profesionales de la salud han demostrado que al seguir patrones de estilos de vida saludable, la esperanza de vida libre de enfermedades cardiovasculares y cáncer a los 50 años es de hasta 35,5 años en mujeres y 32,5 en hombres³. Además, una revisión reciente sobre la incidencia de cáncer colorrectal, próstata y mama resaltó como principales factores de riesgo el sedentarismo, una dieta alta en ultraprocesados, fumar y consumir alcohol⁴.

Debido a la consistente asociación entre estilos de vida y la aparición de enfermedades crónicas, diversas organizaciones han direccionado recomendaciones para la prevención y tratamiento de estas enfermedades no transmisibles a nivel individual y poblacional⁵. Estos hallazgos refuerzan la necesidad de implementar estrategias educativas que promuevan estilos de vida saludables desde etapas tempranas, especialmente en poblaciones universitarias que están consolidando sus hábitos de vida.

Por lo anterior, la promoción y adquisición de actitudes saludables son un elemento clave para las universidades⁶, dado que abarcan poblaciones de adolescentes tardíos y adultos jóvenes que están a punto de consolidar sus comportamientos saludables⁷. A pesar de que los estudiantes de áreas de la salud pueden presentar adecuados hábitos saludables⁶, es un hecho generalizado que los universitarios son sedentarios, tienen una baja calidad de la dieta, presentan un alto consumo de alcohol y un prevalente uso de cigarrillo⁸.

Dada la evidencia incuestionable sobre la asociación entre estilos de vida saludable y la incidencia de

enfermedades crónicas no transmisibles, junto a las falencias de comportamientos saludables en universitarios, resulta imperativo que las instituciones educativas desarrollen estrategias y ambientes que alienten a los alumnos a la adopción de estilos de vida saludables^{4,5}. El objetivo de la presente investigación es describir los comportamientos de salud y factores de riesgo modificables en estudiantes de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas.

Material y métodos

Diseño y población de estudio

Estudio epidemiológico observacional, transversal y descriptivo en estudiantes de primer y segundo año del programa de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas durante el mes de octubre del 2024. Este programa tiene una duración de tres años, distribuido en seis periodos académicos de cuatro meses cada uno. A partir del segundo año, los alumnos inician sus prácticas en entornos laborales con exposición a radiación ionizante.

Se excluyeron estudiantes sin interés de participar o mujeres que estuvieran en estado de gestación o lactancia. La selección de estudiantes empleó muestreo no probabilístico mediante la intención de participar. La convocatoria se hizo a través de e-mail y en aulas de clase.

Declaración ética

Esta investigación siguió las directrices éticas locales e internacionales en la investigación con seres humanos. De acuerdo con la normativa local, este estudio se clasificó como de riesgo mínimo y fue aprobado por el comité institucional de investigación.

Mediciones

Para esta investigación se empleó el Cuestionario de estilos de vida en jóvenes universitarios (CEVJU-R)⁹. Dicho cuestionario es un instrumento de autoinforme, construido en la Pontificia Universidad Javeriana de Cali y validado en más de 10 universidades en Colombia. El cuestionario consta de 38 ítems, que abarcan siete dimensiones o estilos de vida (actividad física, higiene y cuidado personal, alimentación, uso de alcohol y cigarrillo, sueño, sexualidad y estado mental) y cada dimensión está conformada por la práctica

Tabla 1. Características demográficas

Variables	Total (n = 93)	Sexo			Año académico		
		Hombre (n = 44)	Mujer (n = 49)	p	Primero (n = 30)	Segundo (n = 63)	p
Año académico, n (%)							
Primero	30 (32,3)	15 (34)	15 (30,6)	0,720			
Segundo	63 (67,7)	29 (66)	34 (69,4)				
Edad, promedio (DE)	24,4 (6,2)	25 (6,2)	24 (6,1)	0,149	24,8 (7,7)	24,1 (5,4)	0,695
Estrato socioeconómico, n (%)							
1	16 (17,2)	9 (20,4)	7 (14,3)	0,524	10 (33,3)	6 (9,5)	0,004
2	49 (52,7)	24 (54,6)	25 (51,0)		16 (53,3)	33 (52,4)	
3	28 (30,1)	11 (25,0)	17 (34,7)		4 (13,4)	24 (38,1)	
Soltero, sí n (%)	79 (85,0)	40 (91)	39 (79,6)	0,128	25 (83,3)	54 (85,7)	0,764
Trabaja, sí n (%)	59 (63,4)	27 (61,4)	32 (65,3)	0,693	23 (76,7)	36 (57,1)	0,068
Procedencia, n (%)							
Bogotá	55 (59,1)	24 (54,6)	31 (63,3)	0,393	17 (56,7)	38 (60,3)	0,738
Otras ciudades	38 (40,9)	20 (45,4)	18 (36,7)		13 (43,3)	25 (39,7)	

DE: desviación estándar.

(escala tipo Likert), sus motivaciones (múltiples opciones con única opción de respuesta) y recursos para realizarlos (múltiples opciones de respuesta)⁹.

Además, se caracterizaron las variables demográficas de sexo, edad, estado civil, empleado y semestre. El nivel socioeconómico se describió según las características y el entorno de la vivienda, propuesto por el Departamento Administrativo Nacional de Estadísticas y el Departamento Nacional de Planeación, clasificando como: 1, bajo-bajo; 2, bajo, y 3, medio-bajo. Toda la información se recopiló en un formulario virtual de Microsoft.

Análisis estadístico

Se emplearon frecuencias y porcentajes para describir las variables categóricas. Se usaron promedios y desviaciones estándar para describir las variables cuantitativas. Se realizó un análisis exploratorio de diferencias entre grupos con el fin de identificar relaciones bivariantes en los hallazgos. Los grupos de comparación fueron el sexo (hombre/mujer) y el año del programa (primero/segundo). Se usaron las pruebas de chi cuadrado de Pearson o el test exacto de Fisher para comparar las variables categóricas. Para las variables cuantitativas, primero se evaluó su distribución normal mediante la prueba de Shapiro-Wilk y Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente, se compararon con la prueba t de

Student o suma de rangos de Wilcoxon. Se asumió como diferencias estadísticamente significativas valores $p < 0,05$. El software empleado fue Stata versión 12.

Resultados

Descripción de la población

En la investigación participaron 93 estudiantes, el 67,7% de segundo año, con edad promedio de $24,4 \pm 6,2$ años y el 52,7% mujeres. A nivel socioeconómico, el 70% eran de nivel 1 o 2, el 85% solteros, el 63,4% trabajan y el 41,0% proceden de diversas ciudades del país distintas a la capital colombiana. Detalles por sexo y año académico se encuentran en la [tabla 1](#).

Actividad física

Los participantes reportaron un bajo nivel de actividad física. El 61% poco o nunca caminan/montan bicicleta como medio de transporte, el 78% pocas veces o nunca realizan deporte de manera competitiva, el 71% no realizan ejercicio o actividad física por lo menos 30 minutos 3 veces al día.

Dichas características son significativamente más prevalentes en mujeres que en hombres. Por el contrario, en la disponibilidad de recursos, un mayor porcentaje de hombres que de mujeres consideraron tener tiempo (61 vs. 37%; $p = 0,018$), conocimientos de realización adecuada de las prácticas (91 vs. 47%;

Tabla 2. Actividad física

Variables	Total (n = 93)	Sexo			Año académico		
		Hombre (n = 44)	Mujer (n = 49)	p	Primero (n = 30)	Segundo (n = 63)	p
Camina o montar cicla como medio transporte, n (%)							
Frecuentemente	36 (38,7)	23 (52,3)	13 (26,5)	0,006	12 (40)	24 (38,1)	0,947
Pocas veces	43 (46,2)	19 (43,2)	24 (49,0)		14 (46,7)	29 (46,0)	
Nunca	14 (15,1)	2 (4,5)	12 (24,5)		4 (13,3)	10 (15,9)	
Practicar deporte competitivo, n (%)							
Frecuentemente	20 (21,5)	16 (36,4)	4 (8,2)	0,001	8 (26,7)	12 (19,1)	0,701
Pocas veces	34 (36,6)	19 (43,2)	15 (30,6)		10 (33,3)	24 (38,1)	
Nunca	39 (41,9)	9 (20,5)	30 (61,2)		12 (40,0)	27 (42,8)	
Hacer ejercicio por 30 minutos, n (%)							
Frecuentemente	26 (28,9)	17 (38,6)	9 (18,4)	0,058	10 (33,3)	16 (25,4)	0,367
Pocas veces	53 (56,0)	23 (52,3)	30 (61,2)		14 (46,7)	39 (61,9)	
Nunca	14 (15,1)	4 (9,1)	10 (20,4)		6 (20,0)	8 (12,7)	
Disponibilidad de recursos, n (%)							
Implementos	68 (73,1)	30 (68,2)	38 (77,6)	0,309	23 (76,7)	45 (71,4)	0,594
Dinero	42 (45,2)	18 (40,9)	24 (49,0)	0,435	14 (46,7)	28 (44,4)	0,841
Tiempo	45 (48,4)	27 (61,4)	18 (36,7)	0,018	15 (50,0)	30 (47,6)	0,831
Compañía	38 (40,9)	16 (36,4)	22 (44,9)	0,403	13 (43,3)	25 (39,7)	0,738
Habilidades	72 (77,4)	35 (79,6)	37 (75,5)	0,642	20 (66,7)	52 (82,5)	0,087
Buena salud	74 (79,6)	38 (86,4)	36 (73,5)	0,124	20 (66,7)	54 (85,7)	0,033
Conocimientos	63 (67,7)	40 (90,9)	23 (46,9)	0,001	20 (66,7)	43 (68,3)	0,878
Espacios y oferta en la universidad	46 (49,5)	29 (65,9)	17 (34,7)	0,003	13 (43,3)	33 (52,4)	0,415
Motivos para hacer actividad física, n (%)							
Beneficiar la salud	46 (49,5)	23 (52,3)	23 (46,9)	0,607	13 (43,3)	33 (52,4)	0,415
Mejorar el ánimo	17 (18,3)	10 (22,7)	7 (14,3)	0,293	3 (10,0)	14 (22,2)	0,154
Mejorar la figura	19 (20,4)	6 (13,6)	13 (26,5)	0,124	8 (26,7)	11 (17,5)	0,303
Motivos para NO hacer actividad física, n (%)							
Pereza	58 (62,4)	33 (75,0)	25 (51,0)	0,017	17 (56,7)	41 (65,1)	0,434
Poco tiempo	12 (12,9)	5 (11,4)	7 (14,3)	0,675	3 (10,0)	9 (14,3)	0,564
Esfuerzo y se cansa	10 (10,8)	2 (4,6)	8 (16,3)	0,067	6 (20,0)	4 (6,4)	0,047

p = 0,001) e identificar espacios y ofertas de actividad física por parte de la institución (66 vs. 35%; p = 0,003). Paralelamente, los de segundo año reportaron mayor porcentaje de disponer de buena salud para realizar ejercicio en comparación con los de primer año (86 vs. 67%; p = 0,033) (Tabla 2).

Cuidado e higiene personal

Más del 80% de los participantes indican que frecuentemente se lavan los dientes después de comidas principales y se bañan a diario. Las mujeres, en comparación con los hombres, usan frecuentemente bloqueador solar (63 vs. 20%; p = 0,001) y exploran su cuerpo para detectar cambios (77 vs. 50%; p = 0,021). Los motivos para cuidar o descuidar su cuidado e higiene personal son semejantes entre ambos sexos y años académicos (Tabla 3).

Alimentación

Son pocos los participantes que poseen hábitos alimentarios saludables. El 56% de los alumnos consumen frutas-verduras-hortalizas la mayoría de los días; el 43% consumen suficiente agua de manera diaria y el 44% consumen en horarios habituales los tiempos de comida principal.

Se evidenció que son más los hombres, en comparación con las mujeres, que comen en exceso sin tener hambre (70,4 vs. 42,9%; p = 0,025) y de manera inversa, las mujeres usan más laxantes o vomitan que los hombres (12,2 vs. 0%; p = 0,028). En cuanto al año académico, el segundo año, en comparación con el primer año, presentan mayor frecuencia de consumo de gaseosas y bebidas artificiales (36,5 vs. 10%; p = 0,009), alto porcentaje de alumnos que frecuentemente dejan de comer, aunque tengan hambre (63,5 vs. 36,7%; p = 0,008) y excesivo porcentaje de estudiantes

Tabla 3. Cuidado e higiene personal

Frecuencia últimos 6 meses	Total (n = 93)	Sexo			Año académico		
		Hombre (n = 44)	Mujer (n = 49)	p	Primero (n = 30)	Segundo (n = 63)	p
Cepillarse los dientes después de cada comida principal, n (%)							
Frecuentemente	82 (88,2)	36 (81,8)	46 (93,9)	0,069	25 (83,3)	57 (90,5)	0,324
Pocas veces	11 (11,8)	8 (18,2)	3 (6,1)		5 (16,7)	6 (9,5)	
Bañarse todos los días, n (%)							
Frecuentemente	92 (98,9)	43 (97,7)	49 (100)	0,473	30 (100)	62 (98,4)	0,677
Pocas veces	1 (1,1)	1 (2,3)	0		0	1 (1,6)	
Tomar medicamentos sin receta, n (%)							
Frecuentemente	23 (24,7)	10 (22,7)	13 (26,5)	0,865	5 (16,7)	18 (28,6)	0,449
Pocas veces	46 (49,5)	23 (52,3)	23 (46,9)		16 (53,3)	30 (47,6)	
Nunca	24 (25,8)	11 (25,0)	13 (26,6)		9 (30,0)	15 (23,8)	
Usar bloqueador solar, n (%)							
Frecuentemente	40 (43,0)	9 (20,5)	31 (63,3)	0,001	11 (36,7)	29 (46,0)	0,548
Pocas veces	36 (38,7)	23 (52,3)	13 (26,5)		14 (46,7)	22 (34,9)	
Nunca	17 (18,3)	12 (27,3)	5 (10,2)		5 (16,7)	12 (19,1)	
Observar y explorar el cuerpo para detectar cambios, n (%)							
Frecuentemente	60 (64,5)	22 (50,0)	38 (77,6)	0,021	17 (56,7)	43 (68,3)	0,491
Pocas veces	29 (31,2)	19 (43,2)	10 (20,4)		11 (36,7)	18 (28,6)	
Nunca	4 (4,3)	3 (6,8)	1 (2,0)		2 (6,7)	2 (3,2)	
Asistencia a revisiones último año, n (%)							
Revisión médica	65 (68,9)	28 (63,6)	37 (75,5)	0,213	21 (70,0)	44 (69,8)	0,988
Revisión odontológica	59 (63,4)	25 (56,8)	34 (69,4)	0,209	21 (70,0)	38 (60,3)	0,365
Motivo para cuidarse, n (%)							
Mantener o recuperar la salud	49 (52,7)	20 (45,5)	29 (59,2)	0,363	18 (60,0)	31 (49,2)	0,268
Tener buena apariencia personal	15 (16,1)	9 (20,4)	6 (12,2)		6 (20,0)	9 (14,3)	
Sentirse bien	29 (31,2)	15 (34,1)	14 (28,6)		6 (20,0)	23 (36,5)	
Motivo para NO cuidarse, n (%)							
No cree que algo malo le pueda pasar	21 (22,6)	10 (22,7)	11 (22,5)	0,974	6 (20,0)	15 (23,8)	0,794
Le da miedo descubrir que algo le pasa	11 (11,8)	3 (6,8)	8 (16,3)	0,206	4 (13,3)	7 (11,1)	0,742
Le da pereza hacerlo	30 (32,3)	15 (34,1)	15 (30,6)	0,721	10 (33,3)	20 (31,8)	0,878
Recursos disponibles, n (%)							
Afiliación a salud	89 (95,7)	43 (97,7)	46 (93,9)	0,619	29 (96,7)	60 (95,2)	0,901
Dinero	70 (75,3)	32 (72,7)	38 (77,6)	0,591	24 (80,0)	46 (73,0)	0,466
Tiempo	57 (61,3)	26 (59,1)	31 (63,3)	0,681	22 (73,3)	35 (55,6)	0,101
Conocimientos	77 (82,8)	38 (86,4)	39 (79,6)	0,423	25 (83,3)	52 (82,5)	0,924
Servicios públicos	89 (95,7)	42 (95,5)	47 (95,9)	0,912	29 (96,7)	60 (95,2)	0,751

que manifiestan menos tiempo para comer (66,7 vs. 41,3%; $p = 0,022$) y espacios adecuados en la institución para alimentarse (50,8 vs. 73,3%; $p = 0,039$) (Tabla 4).

alcohólicas y cigarrillo se atañe a que disminuye la tensión, ansiedad o el estrés (24,7 y 54,2% respectivamente), esto último es más notorio en segundo año que en primer año (70,6 vs. 14,3%; $p = 0,023$).

Uso de cigarrillo y alcohol

El uso de alcohol y cigarrillo en la población evaluada es del 82,8 y 26,9% respectivamente, siendo el tabaquismo más usual en los hombres que en mujeres (40,9 vs. 14,3%; $p = 0,015$). El consumo de bebidas

Sueño

La calidad del sueño es deficiente entre los alumnos evaluados. Cerca del 10% duerme y se levanta en una hora habitual, el 14% logra conciliar el sueño fácilmente al momento de dormir y el 30% se despierta en la

Tabla 4. Alimentación

Frecuencia semanal habitual	Total (n = 93)	Sexo			Año académico		
		Hombre (n = 44)	Mujer (n = 49)	p	Primero (n = 30)	Segundo (n = 63)	p
Frutas, verduras y hortalizas, n (%)							
Mayoría de los días	52 (55,9)	20 (45,5)	32 (65,3)	0,065	16 (53,3)	36 (57,1)	0,835
Algunos días	40 (43,0)	24 (54,5)	16 (32,7)		14 (46,7)	26 (41,3)	
Ningún día	1 (1,1)	0	1 (2,0)		0	1 (1,6)	
Comidas rápidas, n (%)							
Mayoría de los días	26 (28,0)	13 (29,6)	13 (26,5)	0,975	7 (23,3)	19 (30,2)	0,637
Algunos días	66 (70,9)	31 (70,4)	35 (71,4)		23 (76,7)	43 (68,2)	
Ningún día	1 (1,1)	0	1 (2,1)		0	1 (1,6)	
Gaseosas y bebidas artificiales, n (%)							
Mayoría de los días	26 (28,0)	14 (31,8)	12 (24,5)	0,486	3 (10,0)	23 (36,5)	0,009
Algunos días	60 (64,5)	28 (63,6)	32 (65,3)		25 (83,3)	35 (55,6)	
Ningún día	7 (7,5)	2 (4,6)	5 (10,2)		2 (6,7)	5 (7,9)	
8 vasos de agua, n (%)							
Mayoría de los días	40 (43,1)	20 (45,5)	20 (40,8)	0,901	17 (56,7)	23 (36,5)	0,086
Algunos días	40 (43,1)	18 (40,9)	22 (44,9)		8 (26,7)	32 (50,8)	
Ningún día	13 (13,8)	6 (13,6)	7 (14,3)		5 (16,6)	8 (12,7)	
Desayunar, almorzar y cenar en horarios habituales, n (%)							
Mayoría de los días	41 (44,1)	20 (45,4)	21 (42,9)	0,967	16 (53,3)	25 (39,7)	0,464
Algunos días	41 (44,1)	19 (43,2)	22 (44,9)		11 (36,7)	30 (47,6)	
Ningún día	11 (11,8)	5 (11,4)	6 (12,2)		3 (10,0)	8 (12,7)	
Omitir comidas principales, n (%)							
Mayoría de los días	26 (27,9)	15 (34,1)	11 (22,4)	0,446	12 (40,0)	14 (22,2)	0,192
Algunos días	54 (58,1)	23 (52,3)	31 (63,3)		14 (46,7)	40 (63,5)	
Ningún día	13 (14,0)	6 (13,6)	7 (14,3)		4 (13,3)	9 (14,3)	
Dejar de comer, aunque tenga hambre, n (%)							
Mayoría de los días	11 (11,8)	6 (13,6)	5 (10,2)	0,711	5 (16,7)	6 (9,5)	0,008
Algunos días	40 (43,0)	20 (45,5)	20 (40,8)		6 (20,0)	34 (54,0)	
Ningún día	42 (45,2)	18 (40,9)	24 (49,0)		19 (63,3)	23 (36,5)	
Comer en exceso, aunque no tenga hambre, n (%)							
Mayoría de los días	6 (6,5)	3 (6,8)	3 (6,1)	0,025	2 (6,7)	4 (6,4)	0,994
Algunos días	46 (49,5)	28 (63,6)	18 (36,8)		15 (50,0)	31 (49,2)	
Ningún día	41 (44,0)	13 (29,6)	28 (57,1)		13 (43,3)	28 (44,4)	
Vomitir o usar laxantes después de comer en exceso, n (%)							
Algunos días	6 (6,5)	0	6 (12,2)	0,028	2 (6,7)	4 (6,4)	0,999
Ningún día	87 (93,5)	44 (100)	43 (87,8)		28 (93,3)	59 (93,6)	
En el último año ha..., n (%)							
Realizado dietas sin supervisión de un profesional	19 (20,4)	7 (15,9)	12 (24,5)	0,306	6 (20,0)	13 (20,6)	0,943
Tomado productos para bajar/subir de peso	23 (24,7)	8 (18,2)	15 (30,6)		6 (20,0)	17 (27,0)	
Motivos para alimentarse saludablemente, n (%)							
Bajar de peso	14 (15,1)	4 (9,1)	10 (20,4)	0,155	6 (20,0)	8 (12,7)	0,357
Mejorar rendimiento físico/mental	32 (34,4)	16 (36,4)	16 (32,7)	0,707	12 (40,0)	20 (31,8)	0,433
Mantener la salud	38 (40,9)	19 (43,2)	19 (38,8)	0,666	10 (33,3)	28 (44,4)	0,308
Motivos para NO alimentarse saludablemente, n (%)							
Conservar o mejorar su figura	15 (16,1)	6 (13,6)	9 (18,4)	0,536	6 (20,0)	9 (14,3)	0,484
No le gusta restringirse en lo que come	24 (25,8)	15 (34,1)	9 (18,4)	0,084	7 (23,3)	17 (27,0)	0,707
No puede controlarse en lo que come	15 (16,1)	7 (15,9)	8 (16,3)	0,956	6 (20,0)	9 (14,3)	0,484
No piensa en las consecuencias de una mala alimentación	24 (25,8)	9 (20,5)	15 (30,6)	0,264	8 (26,7)	16 (25,4)	0,896

(Continúa)

Tabla 4. Alimentación (*continuación*)

Frecuencia semanal habitual	Total (n = 93)	Sexo			Año académico		
		Hombre (n = 44)	Mujer (n = 49)	p	Primero (n = 30)	Segundo (n = 63)	p
Recursos para alimentarse adecuadamente, n (%)							
Dinero	54 (58,1)	26 (59,1)	28 (57,1)	0,849	19 (63,3)	35 (55,6)	0,477
Tiempo	46 (49,5)	21 (47,7)	25 (51,0)	0,751	20 (66,7)	26 (41,3)	0,022
Alimentos saludables en institución	17 (18,3)	11 (25,0)	6 (12,2)	0,112	6 (20,0)	11 (17,5)	0,767
Espacios adecuados en institución	54 (58,1)	26 (59,1)	28 (57,1)	0,849	22 (73,3)	32 (50,8)	0,039
Conocimientos para elegir alimentos	67 (72,0)	32 (72,7)	35 (71,4)	0,889	22 (73,3)	45 (71,4)	0,848
Disponibilidad de alimentos saludables en casa	70 (75,3)	34 (77,3)	36 (73,5)	0,671	24 (80,0)	46 (73,0)	0,466

madrugada y vuelve a conciliar el sueño. No se encontraron diferencias significativas por sexo o año académico.

En cuanto al sexo, una mayor proporción de hombres respecto a mujeres manifiestan poseer tiempo (68 vs. 35%; $p = 0,001$) y control de la mente (66 vs. 39%; $p = 0,009$) al momento de dormir adecuadamente. En cuanto al año académico, los de segundo año poseen menor frecuencia de conciliar el sueño fácilmente (8 vs. 27%; $p = 0,013$) y menor control de la mente al momento de dormir apropiadamente (44 vs. 67%; $p = 0,045$).

Sexualidad y anticoncepción

En el último año, el 88.2% de los participantes manifestó tener una o más parejas sexuales, siendo mayor porcentaje los hombres que manifiestan haber tenido dos o más (50 vs. 20,4%; $p = 0,006$). Se encontró un elevado porcentaje de alumnos que no usan condón (18%) o métodos anticonceptivos (31%) durante el último año, siendo las mujeres las que siempre usan métodos anticonceptivos en comparación con los hombres (57 vs. 20,5%; $p = 0,003$). En cuanto a los recursos disponibles para una anticoncepción y sexualidad adecuada, no se encontraron diferencias por sexo o año académico, pero a nivel poblacional solo el 65.6% de los participantes manifestaron tener recursos económicos para aquello.

Estado mental

El 12, 13 y 15% de los participantes sienten siempre tristeza, enojo o soledad, respectivamente. Al mismo tiempo, el 10 y 13% siente alegría o esperanza respectivamente. Estos hallazgos no se diferencian en el sexo o el año académico.

Discusión

Esta investigación permitió describir una alta prevalencia de sedentarismo, falta de cuidado personal, baja calidad de la dieta, uso de cigarrillo y alcohol, inadecuada calidad del sueño, irregular uso de anticonceptivos y estados emocionales intensos en los alumnos de radiología. Estos hallazgos se traducen en inadecuados estilos de vida saludable y, de perpetuarse a largo plazo, podrían combinarse con la exposición ocupacional a radiación ionizante e incrementar la incidencia de enfermedades como el cáncer y enfermedades cardiovasculares.

Los factores que influyen en el desarrollo del cáncer están relacionados con características individuales (como la edad y la genética), factores ambientales (como la radiación y los virus) y el estilo de vida. Este vínculo se explica por mecanismos como la inflamación crónica y la hiperinsulinemia, que favorecen la proliferación celular y la inestabilidad genética. Para reducir el riesgo de cáncer, uno de los factores clave de prevención es mantener un peso saludable mediante la práctica regular de actividad física, y una dieta rica en fibra y baja en alimentos procesados y azucarados. En este sentido, la etapa universitaria representa un momento crucial para fomentar la adaptación a hábitos saludables que contribuyan a mitigar el riesgo de enfermedades crónicas en la adultez y a mejorar los índices de calidad de vida^{10,11}.

De acuerdo con nuestro conocimiento, no se dispone de publicaciones relacionadas con estilos de vida saludable en estudiantes de tecnología en radiología. Sin embargo, los hallazgos no difieren de otros estudios en universitario en Colombia, quienes se caracterizan por altos niveles de sedentarismo, hábitos alimentarios inadecuados, consumo de sustancias nocivas (p. ej., alcohol y cigarrillo), inadecuados patrones de sueño,

poca asistencia a controles médicos y comportamientos sexuales de riesgo.

En este sentido, los hallazgos coinciden con estudios realizados en otras universidades. Una investigación en universidades del caribe evidenció una alimentación alta en azúcares, alta en grasas, baja en frutas/verduras, omisión de tiempos de comida y ejercicio regular en el 29%¹². De la misma manera, en Medellín, el 57% realiza chequeos de su peso, el 74% realiza ejercicio, el 33% tiene una buena percepción de sus hábitos alimentarios y nivel de actividad física¹³. En el caso de universidades en Bogotá, una institución¹⁴ encontró que el 30% presentaron una dieta de baja calidad, al tiempo que una investigación en tres universidades de la ciudad describió que cerca del 60% consumen regularmente bebidas carbonatadas, el 80% consumen bebidas carbonatadas sin azúcar y el 65% consumen bebidas tipo jugos envasados¹⁵. Paralelamente, estudiantes de primer semestre demostraron elevadas proporciones de factores de riesgo cardiovascular, incluyendo el exceso de peso¹⁶. En cuanto a actividad física, en otra institución universitaria se encontró que el 45, el 35 y el 20% de los estudiantes tenían un nivel bajo, alto e intermedio de actividad física, respectivamente¹⁷, mientras que los programas con alta presencia de mujeres presentaban mayores porcentajes de baja actividad física y bajo consumo de frutas¹⁸.

En conjunto, estos datos indican que la población estudiantil en radiología exhibe estilos de vida similares a otros profesionales de la salud. Es fundamental señalar que desde la formación académica, estos alumnos también tienen exposición ocupacional a radiación ionizante, lo que, teóricamente, incrementa el riesgo de padecer cáncer en comparación con otras profesiones. Es decir, aunque los estudiantes de carreras de salud pueden compartir estilos de vida similares, la exposición a la radiación ionizante es un factor de riesgo diferenciador en los educandos de carreras en radiología^{19,20}. Por tanto, la formación en medidas de protección no solo debe enfocarse en uso de elementos de protección personal (elementos plomados, niveles de referencia para diagnóstico y uso de dosímetros, entre otros), también debería incluir la formación en estilos de vida saludable.

De acuerdo con nuestro conocimiento, no se dispone de estudios sobre los efectos de intervenciones en la formación de hábitos saludables en estudiantes de tecnología en radiología. Debido a que los hallazgos son similares a los de otros estudiantes de la salud, es posible que intervenciones efectivas en universitarios

puedan servir de referente para futuros estudios y estrategias de intervención, por ejemplo programas de desarrollo de habilidades cognitivo-conductuales²¹, *mindfulness*²², modelos de educación deportiva²³ o mHealth (utilización de dispositivos inteligentes móviles para intervenciones de salud)²⁴.

Por último, la alta proporción de estudiantes que reportan dificultades para dormir, sentimientos de tristeza o estrés, y la falta de recursos adecuados para una alimentación saludable dentro de la institución, indican que los factores estructurales también desempeñan un papel importante. Por tanto, las estrategias de intervención deben trascender de la educación individual y contemplar mejoras en el entorno institucional, como la oferta de alimentos saludables, espacios para la actividad física y servicios de apoyo psicológico.

Fortalezas y limitaciones

La principal fortaleza de la investigación es poder describir el panorama de los estilos de vida de los estudiantes de tecnología en radiología²⁵: actividad física, uso de medicamentos, cuidado médico, uso de cigarrillo, alimentación, sueño, consumo de alcohol, cuidado oral y sexualidad. La segunda fortaleza radica en diferenciar las prácticas saludables por sexo y año académico, lo cual permite diferenciar su comportamiento y faculta su uso para focalizar intervenciones a corto y mediano plazo.

La limitación fundamental de esta investigación es la imposibilidad de profundizar detalles sobre cada comportamiento saludable, como por ejemplo la cantidad de cigarrillos fumados, los gramos de alcohol ingeridos, etc. Es importante considerar que dicha profundidad solo se alcanza con investigaciones diseñadas para tal fin. Por tanto, es necesario que próximas investigaciones indaguen de manera detallada sobre los estilos de vida saludable.

Conclusiones

Los estudiantes de Tecnología en Radiología e Imágenes Diagnósticas presentan inadecuados estilos de vida. Las mujeres mostraron menor actividad física pero mayor uso de bloqueador solar y métodos anticonceptivos, mientras que los hombres presentaron mayor consumo de cigarrillo y menor percepción de riesgo en prácticas sexuales. Estas diferencias deben ser consideradas en los programas universitarios de promoción de la salud.

Financiamiento

Los autores declaran que esta investigación se financió con recursos de la Fundación Tecnológica Autónoma de Bogotá.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que los procedimientos seguidos se conformaron a las normas éticas del comité de experimentación humana responsable, de acuerdo con la Asociación Médica Mundial y la Declaración de Helsinki. Los procedimientos fueron autorizados por el Comité de Ética de la institución.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. Los autores han seguido los protocolos de su institución para acceder a los datos de las historias clínicas. Se ha obtenido el consentimiento informado de los pacientes y se cuenta con la aprobación del Comité de Ética. Se han seguido las recomendaciones de las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que no se utilizó ningún tipo de inteligencia artificial generativa para la redacción ni la creación de contenido de este manuscrito.

Referencias

- Mu H, Sun J, Li L, Yin J, Hu N, Zhao W, et al. Ionizing radiation exposure: hazards, prevention, and biomarker screening. *Environ Sci Pollut Res* [Internet]. 2018 [citado 15 nov 2024];25(16):15294-306. Disponible en: <http://link.springer.com/10.1007/s11356-018-2097-9>
- Baudin C, Vacquier B, Thin G, Chenene L, Guersen J, Partarrieu I, et al. Occupational exposure to ionizing radiation in medical staff: trends during the 2009-2019 period in a multicentric study. *Eur Radiol* [Internet]. 2023 [citado 15 nov 2024];33(8):5675-84. Disponible en: <https://link.springer.com/10.1007/s00330-023-09541-z>
- Li Y, Schoufour J, Wang DD, Dhana K, Pan A, Liu X, et al. Healthy lifestyle and life expectancy free of cancer, cardiovascular disease, and type 2 diabetes: prospective cohort study. *BMJ* [Internet]. 2020 [citado 15 nov 2024];l6669. Disponible en: <https://www.bmj.com/lookup/doi/10.1136/bmj.l6669>
- Marino P, Mininni M, Deiana G, Marino G, Divella R, Bochicchio I, et al. Healthy lifestyle and cancer risk: modifiable risk factors to prevent cancer. *Nutrients* [Internet]. 2024 [citado 15 nov 2024];16(6):800. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/16/6/800>
- Rock CL, Thomson C, Gansler T, Gapstur SM, McCullough ML, Patel AV, et al. American Cancer Society guideline for diet and physical activity for cancer prevention. *CA Cancer J Clin* [Internet]. 2020 [citado 15 nov 2024];70(4):245-71. Disponible en: <https://acsjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.3322/caac.21591>
- García-Pérez L, Villodres GC, Muros JJ. Differences in healthy lifestyle habits in university students as a function of academic area. *J Public Health* [Internet]. 2023 [citado 15 nov 2024];45(2):513-22. Disponible en: <https://academic.oup.com/jpubhealth/article/45/2/513/6806167>
- Palenzuela-Luis N, Duarte-Clíments G, Gómez-Salgado J, Rodríguez-Gómez JA, Sánchez-Gómez MB. International comparison of self-concept, self-perception and lifestyle in adolescents: a systematic review. *Int J Public Health* [Internet]. 2022 [citado 15 nov 2024];67:1604954. Disponible en: <https://www.ssph-journal.org/articles/10.3389/ijph.2022.1604954/full>
- De Luna-Bertos E. Hábitos de vida saludable en la población universitaria. *Nutr Hosp* [Internet]. 2015 [citado 15 nov 2024];(5):1910-9. Disponible en: <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.5.8608>
- Equipo de Investigación CEVJU Colombia. Evaluación de las conductas de salud en jóvenes universitarios. *Rev Salud Pública*. 2020; 12(4):599-611.
- Ferlay J, Colombet M, Soerjomataram I, Parkin DM, Piñeros M, Znaor A, et al. Cancer statistics for the year 2020: An overview. *Int J Cancer* [Internet]. 2021 [citado 11 oct 2025];149(4):778-89. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/ijc.33588>
- Clinton SK, Giovannucci EL, Hursting SD. The World Cancer Research Fund/American Institute for Cancer Research Third Expert Report on Diet, Nutrition, Physical Activity, and Cancer: Impact and Future Directions. *J Nutr* [Internet]. 2020 [citado 11 oct 2025];150(4):663-71. Disponible en: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0022316622020995>
- Pinillos-Patiño Y, Rebolledo-Cobos R, De Ávila-Quintana L, Ariza-Egea S, Viecco-Montero L, Herazo-Beltrán Y, et al. Caracterización de hábitos alimentarios y de actividad física en jóvenes de la Región Caribe Colombiana. *Nutr Clínica Dietética Hosp* [Internet]. 2022 [citado 22 mar 2024];42(3). Disponible en: <https://doi.org/10.12873/423pinillos>
- Universidad de Antioquia, Rodríguez-Espinoza H, Restrepo-Betancur LF, Universidad de Antioquia, Deossa-Restrepo GC, Universidad de Antioquia. Conocimientos y prácticas sobre alimentación, salud y ejercicio en universitarios de Medellín-Colombia. *Perspect En Nutr Humana* [Internet]. 2015 [citado 22 mar 2024];17(1). Disponible en: <https://revistas.udea.edu.co/index.php/nutricion/article/view/25434>
- Vinaccia S. Mediterranean diet adherence in Colombian university population. *Nutr Clin Diet Hosp* [Internet]. 2019 [citado 22 mar 2024];(1):93-100. Disponible en: <https://doi.org/10.12873/391vinaccia>
- Ramírez-Vélez R, Ojeda ML, Tordecilla MA, Peña JC, Meneses JF. El consumo regular de bebidas azucaradas incrementa el perfil lipídico-metabólico y los niveles de adiposidad en universitarios de Colombia. *Rev Colomb Cardiol* [Internet]. 2016 [citado 22 mar 2024];23(1):11-8. Disponible en: https://rccardiologia.com/previos/RCC%202016%20Vol.%2023/RCC_2016_23_1_ENE-FEB/RCC_2016_23_1_011-018.pdf
- Zea Robles AC, León-Ariza H, Botero-Rosas DA, Afanador-Castañeda HD, Pinzón-Bravo LA. Factores de riesgo cardiovascular y su relación con la composición corporal en estudiantes universitarios. *Rev Salud Pública* [Internet]. 2014 [citado 22 mar 2024];16(4):505-15. Disponible en: <http://www.revistas.unal.edu.co/index.php/revsaludpublica/article/view/38878>
- Díaz-Muñoz GA. Caracterización de los hábitos alimentarios y nivel de actividad física en estudiantes universitarios. *Rev Salud Bosque* [Internet]. 2018 [citado 22 mar 2024];8(1):8. Disponible en: <http://revistasaludbosque.unbosque.edu.co/article/view/2371>
- Díaz-Muñoz GA, Pérez Hoyos AK, Cala Liberato DP, Mosquera Rentería LM, Quiñones Sánchez MC. Diferencia de los niveles de actividad física, sedentarismo y hábitos alimentarios entre universitarios de diferentes programas de la salud de una universidad privada en Bogotá, Colombia. *Rev Esp Nutr Humana Dietética* [Internet]. 2021 [citado 22 mar 2024];25(1):8-17. Disponible en: <https://www.renhyd.org/index.php/renhyd/article/view/1007>
- Ávila-Carrillo VP. Alteraciones clínicas en la salud del personal expuesto a radiaciones ionizantes en los hospitales. *Rev San Gregor*. 2022;1(50):133-47.
- Barros-Astudillo T, Hidalgo-Gualán E, Tello-Calle A, Olmedo-Raza N. Conocimiento y aplicación de normas de protección radiológica, bioseguridad y riesgos para la salud en la academia. *Rev Fac Cienc Médicas Quito* [Internet]. 2023 [citado 11 oct 2025];48(2):16-25. Disponible en: https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/CIENCIAS_MEDICAS/article/view/5439
- Mazurek-Melnyk B, Hoving J, Tan A. Effects of the MINDSTRONG® CBT-based program on depression, anxiety and healthy lifestyle behaviors in graduate health sciences students. *J Am Coll Health* [Internet]. 2022 [citado 4 feb 2026];70(4):1001-9. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/07448481.2020.1782922>
- Soriano-Ayala E, Amutio A, Franco C, Mañas I. Promoting a healthy lifestyle through mindfulness in university students: a randomized controlled trial. *Nutrients* [Internet]. 2020 [citado 4 feb 2026];12(8):2450. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2072-6643/12/8/2450>
- Liao CC, Hsu CH, Kuo KP, Luo YJ, Kao CC. Ability of the sport education model to promote healthy lifestyles in university students: a randomized controlled trial. *Int J Environ Res Public Health* [Internet]. 2023 [citado 4 feb 2026];20(3):2174. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-4601/20/3/2174>
- Andargeery SY, El-Rafey DS. A randomized controlled trial of the effectiveness of the mHealth program in improving the lifestyle of nursing students. *Sci Rep* [Internet]. 2025 [citado 4 feb 2026];15(1):9765. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-024-80982-2>
- Gallardo-Pino C, Arroyo-Acevedo HV, Martínez-Pérez AM. Marco competencial en promoción y educación para la salud: experiencias iberoamericanas. España: Dykinson; 2021.

Análisis bibliométrico de la Revista Chilena de Radiología/Austral Journal of Imaging (1995-2025)

Bibliometric analysis of the Revista Chilena de Radiología/Austral Journal of Imaging (1995-2025)

Juan Olivos-Pérez^{1,2*} , Carlos Toledo-Riquelme¹ , Graciela C. Sandoval-Martínez³ ,
Sofía Klein-Díaz¹ , Emilia A. Amar-Cerna⁴  y Catalina F. Rivas-Pizarro³ 

¹Departamento de Especialidades Médicas, Facultad de Medicina, Universidad de Concepción, Concepción, Chile; ²Programa de Doctorado en Ciencias de la Salud, Universidad de Murcia, Murcia, España; ³Facultad de Medicina, Universidad de Concepción, Concepción, Región del Bío Bío; ⁴Facultad de Medicina, Universidad San Sebastián, Santiago, Chile

Resumen

Introducción: La Revista Chilena de Radiología, principal órgano de difusión científica radiológica en Chile desde 1995, ha reflejado durante tres décadas la evolución disciplinar de la especialidad en el país. **Objetivo:** Analizar la producción científica publicada en la revista entre 1995 y 2025 mediante un estudio bibliométrico descriptivo. **Material y métodos:** Se analizaron un total de 788 artículos, recuperados de SciELO Chile y de los archivos de la Sociedad Chilena de Radiología. Se evaluó la producción, tipología de artículos, subespecialidades abordadas, técnicas de imagen empleadas, características de autoría, filiación institucional y colaboración académica. **Resultados:** Predominaron los artículos de revisión (41,0%) sobre los originales (27,0%), con mayor representación temática en abdomen/pelvis, musculoesquelético y educación. La tomografía computarizada (23,9%) y los estudios multimodales (38,3%) fueron las técnicas más frecuentemente reportadas. El 82,6% de las publicaciones tuvo autoría exclusivamente chilena, mientras que la colaboración internacional fue limitada (2,0%). La participación femenina como primer autor mostró una tendencia creciente a lo largo del periodo analizado. **Conclusiones:** Los hallazgos evidencian la consolidación editorial de la revista y plantean desafíos en internacionalización, fortalecimiento de la producción de estudios originales, equidad de género y diversificación institucional, en un contexto de creciente proyección internacional.

Palabras clave: Bibliometría. Radiología. América latina.

Abstract

Introduction: The Revista Chilena de Radiología, Chile's leading journal for radiological scientific dissemination since 1995, has reflected the evolution of the specialty over the past three decades. **Objective:** To analyze the scientific production published in the journal between 1995 and 2025 through a descriptive bibliometric study. **Material and methods:** A total of 788 articles retrieved from SciELO Chile and the archives of the Chilean Society of Radiology were analyzed. Variables included publication volume, article type, radiological subspecialties, imaging techniques, authorship characteristics, institutional affiliation, and academic collaboration. **Results:** Review articles predominated (41.0%), followed by original research (27.0%), with major thematic areas in abdominal/pelvic, musculoskeletal, and educational radiology. Computed tomography (23.9%) and multimodal imaging studies (38.3%) were the most frequently reported techniques. Most publications had

*Correspondencia:

Juan Olivos-Pérez
E-mail: jolivos@udec.cl

Fecha de recepción: 29-12-2025

Fecha de aceptación: 07-05-2026

DOI: 10.24875/AJI.25000085

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):205-212

www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

exclusively Chilean authorship (82.6%), while international collaboration remained limited (2.0%). Female first authorship showed a progressive increase over time. **Conclusions:** These findings demonstrate the editorial consolidation of the journal and highlight ongoing challenges related to internationalization, strengthening original research production, gender equity, and institutional diversification, within a context of increasing international projection.

Keywords: Bibliometrics. Radiology. Latin America.

Introducción

En 1995, con motivo del centenario del descubrimiento de los rayos X por Wilhelm C. Roentgen, la Sociedad Chilena de Radiología (SOCHRADI) funda la *Revista Chilena de Radiología* (RChR) como instrumento oficial de difusión científica de la especialidad e incentivo para el intercambio de experiencias locales, enfocada principalmente en enriquecer el ámbito radiológico chileno, tanto en aspectos técnicos como clínicos y profesionales¹.

En sus comienzos se publicó solo en formato impreso y posteriormente se indexó en SciELO Chile en 2002, ampliando gracias a ello su visibilidad regional¹. En 2024 adoptó el nombre de *Austral Journal of Imaging* (AJI), manteniendo su continuidad editorial, ampliándose a un enfoque internacional.

En general, las revistas científicas, más allá de publicar resultados de investigación, permiten analizar la evolución temática de la disciplina, sus dinámicas de autoría y redes de colaboración². En este contexto, los estudios bibliométricos han demostrado ser herramientas metodológicas útiles para evaluar cuantitativamente estos aspectos y aportar evidencia para la gestión editorial y el análisis del impacto académico^{3,4}, permitiendo identificar fortalezas, debilidades, y detectar patrones en subespecialidades, género, filiación institucional y cooperación académica.

Revistas similares en el área como son *Radiología* de la Sociedad Española de Radiología Médica⁵ y la *Revista Colombiana de Radiología*⁶ ya han sido objeto de estudios bibliométricos. Sin embargo, en Chile aún no existía un estudio sistemático sobre la evolución editorial de la RChR, a pesar del crecimiento sostenido de la radiología nacional en los últimos 30 años, marcado por avances tecnológicos y una mayor complejidad clínica y académica.

Considerando que la producción editorial de una revista refleja el estado de madurez de su comunidad científica, resulta pertinente preguntarnos cómo ha evolucionado en el tiempo la publicación del principal instrumento de difusión científica radiológica de nuestro país. Analizar sus patrones de publicación, subespecialidades cubiertas, técnicas de imagen reportadas

y características de autoría permite visualizar tendencias, identificar vacíos y orientar en la toma de decisiones estratégicas editoriales e institucionales.

En respuesta a esto, el presente estudio tiene como objetivo analizar la evolución de la producción científica publicada en la RChR entre 1995 y 2025, describiendo tendencias en volumen editorial, tipos de artículos, subespecialidades, técnicas de imagen utilizadas, autoría según género, filiación institucional y colaboración académica nacional e internacional.

Material y métodos

Se realizó un estudio bibliométrico, descriptivo y retrospectivo, que incluyó todos los artículos publicados en la RChR entre marzo de 1995 y diciembre de 2025.

- Fuentes de datos. Los artículos fueron identificados por medio de dos fuentes principales: la base de datos SciELO Chile⁷ y los archivos históricos disponibles en el sitio web de la SOCHRADI⁸. Se construyó una base de datos en Microsoft Excel 365, registrando de forma sistemática todos los artículos publicados desde el volumen 1, número 1 (1995) hasta el volumen 31, número 4 (2025).
- Criterios de exclusión. Se excluyeron los artículos en formato editoriales y cartas al editor, por no contener información susceptible de análisis bibliométrico.
- Variables analizadas. Para cada artículo se extrajeron las siguientes variables:
 - Datos bibliográficos: año de publicación y título del artículo.
 - Clasificación editorial: tipo de artículo (original, revisión, serie de casos, reporte de caso).
 - Subespecialidad radiológica: abdomen y pelvis, musculoesquelético, cardio/tórax, neurorradiología, educación y otras.
 - Técnica de imagen predominante: tomografía computarizada (TC), resonancia magnética (RM), ecografía, radiografía simple y técnicas combinadas.
 - Autoría y filiación: género del primer autor, tipo de institución (universitaria/asistencial), carácter institucional (público, privado, mixto) y país de procedencia.

- Colaboración académica: nacional (entre instituciones chilenas) o internacional (con instituciones extranjeras).
- Definición de categorías temáticas. La categoría «Educación» se creó como un eje temático transversal para agrupar artículos cuyo contenido no se ajustaba a una subespecialidad específica, pero que compartían un enfoque educativo común. En esta categoría se incluyeron publicaciones sobre docencia universitaria, formación de residentes, simulación clínica, aprendizaje virtual, inteligencia artificial aplicada a la enseñanza, evaluación de competencias y otras iniciativas educativas o de gestión dentro del ámbito radiológico.
- Procedimiento de análisis. Se aplicó estadística descriptiva mediante Microsoft Excel 365, calculando frecuencias absolutas, porcentajes, medianas y rangos. La evolución temporal de la producción científica se representó con gráficos de líneas, las variables categóricas se visualizaron con gráficos de barras y circulares. La clasificación de los artículos fue realizada por dos autores de manera independiente. Las discrepancias se resolvieron por consenso, con el fin de asegurar la confiabilidad de los datos.
- Consideraciones éticas. No fue necesaria la aprobación por comité de ética. No se utilizaron datos sensibles ni información identificable de carácter personal.

Resultados

Producción científica anual

Entre marzo de 1995 y diciembre de 2025 se identificaron 788 artículos publicados. Se observó una tendencia al aumento en la producción científica anual al inicio, siendo máxima en el año 2009, con 33 artículos. En la década del 2000 se identificó una meseta en la producción, con una mediana de 29 artículos por año (promedio: 28; rango: 14-33) y un segundo *peak* en 2008 con 32 artículos por año. A partir del año 2013 se evidenció una disminución progresiva en la producción con cifras que variaron entre los 10 y 28 artículos anuales (Fig. 1).

Tipo de artículo

Del total de 788 artículos analizados, predominaron las revisiones, con 323 publicaciones (41,0%), seguidas por los artículos originales, con 213 (27,0%), las series de casos, con 129 (16,4%), y los reportes de caso, con

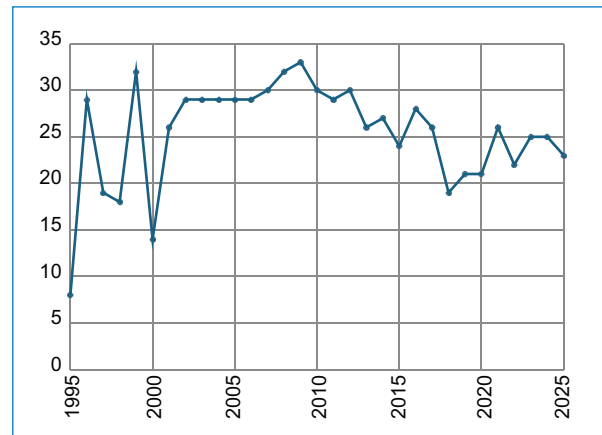


Figura 1. Tendencia de la producción científica anual evaluada según el número de artículos publicados por año.

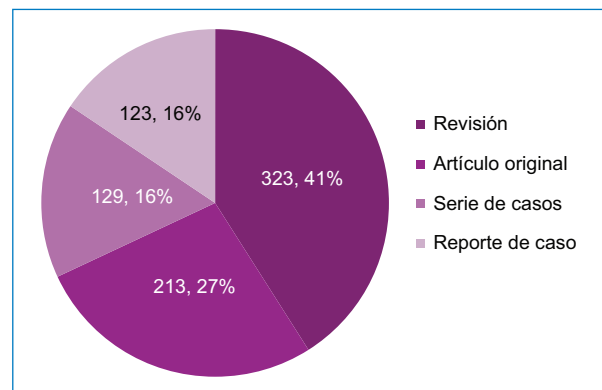


Figura 2. Distribución porcentual de la producción científica total según tipo de artículo publicado.

123 (15,6%). La distribución porcentual se muestra en la figura 2.

Subespecialidades radiológicas

Cinco áreas concentraron el 84% del total de publicaciones: abdomen y pelvis (29,4%), musculoesquelético (18%), cardio/tórax (11,5%) y neurorradiología (11,4%). Se evidencia la presencia sostenida de artículos clasificados bajo la categoría Educación (13,2%). Las subespecialidades restantes sumaron 127 artículos (16,1%). Esta categoría agrupó subespecialidades de menor frecuencia, incluyendo radiología intervencional, imágenes oncológicas, mamarias, pediátricas y medicina nuclear, entre otras. La distribución en valores absolutos se muestra en la figura 3.

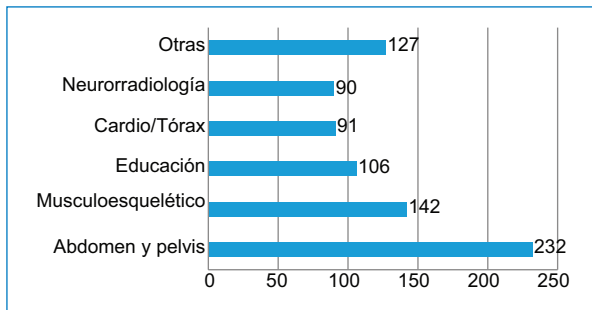


Figura 3. Distribución del contenido científico por especialidad radiológica en valores absolutos.

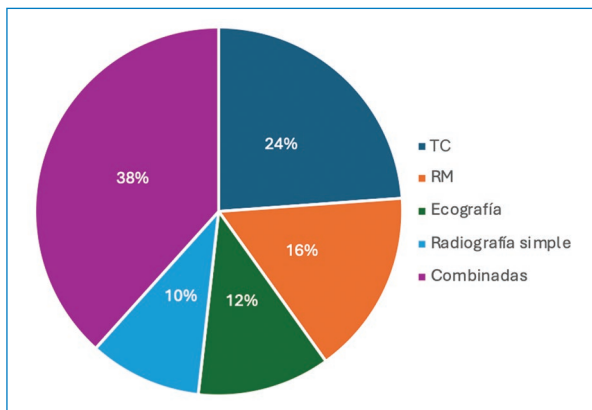


Figura 4. Distribución porcentual de la producción científica según técnica de imagen utilizada. RM: resonancia magnética; TC: tomografía computarizada.

Técnicas de imagen

La técnica más frecuente fue la TC, con 188 artículos, seguida por la RM con 128 artículos, ecografía con 94 artículos y radiografía simple con 78 artículos. La categoría de técnicas combinadas, que incluyó artículos con uso de más de una técnica, alcanzó 302 publicaciones. La distribución porcentual se muestra en la figura 4.

Colaboración académica

La mayoría de los artículos fueron de origen exclusivamente chileno (82,6%). Un 15,4% de las publicaciones son de origen extranjero y solo el 2,0% tienen colaboración mixta entre autores chilenos y extranjeros (Fig. 5). Los países más frecuentes en colaboración internacional fueron España, Colombia y Argentina (Fig. 6). A lo largo del periodo estudiado, la

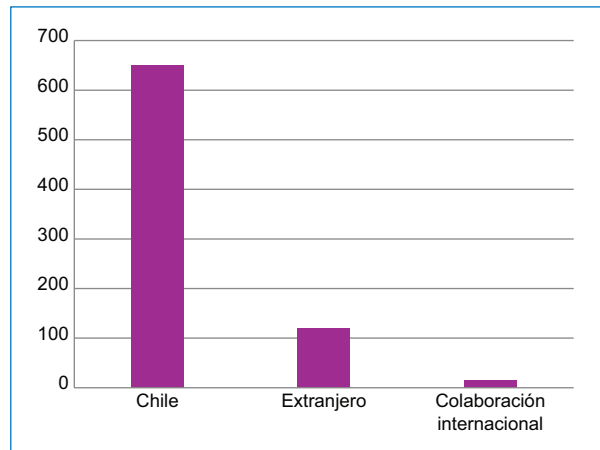


Figura 5. Distribución en valores absolutos de la procedencia de la publicación según origen dentro o fuera de Chile.

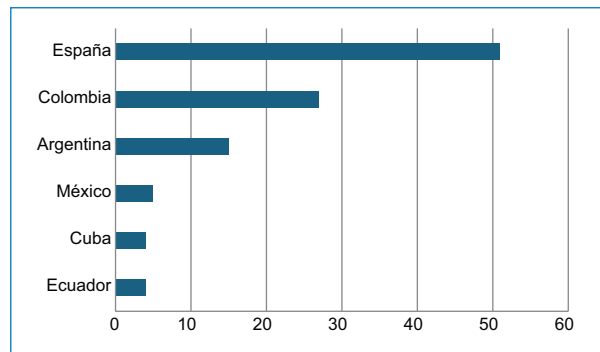


Figura 6. Representación de los principales países extranjeros colaboradores, según número de artículos publicados en valores absolutos.

participación de autores extranjeros se mantuvo globalmente baja. Sin embargo, en los años más recientes se observa una mayor presencia relativa de publicaciones extranjeras, en comparación con etapas previas, coincidiendo temporalmente con la incorporación de la versión en inglés de la revista a partir de 2022 (Fig. 7).

Género del primer autor

Se observó un marcado predominio masculino entre los primeros autores, con 521 artículos (66,1%), frente a 267 publicaciones lideradas por mujeres (33,9%) (Fig. 8). La participación femenina se mantuvo elevada al inicio del periodo, con una caída durante la primera mitad de la década pasada y una tendencia creciente en los últimos años (Fig. 9).

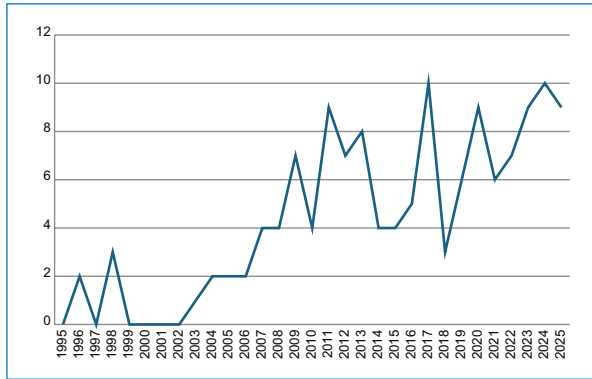


Figura 7. Tendencia histórica de la participación extranjera en la publicación de la revista.

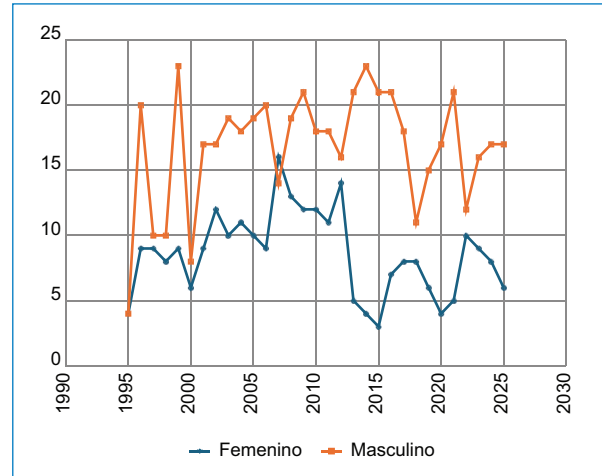


Figura 9. Distribución del número de artículos publicados por año, según género del primer autor.

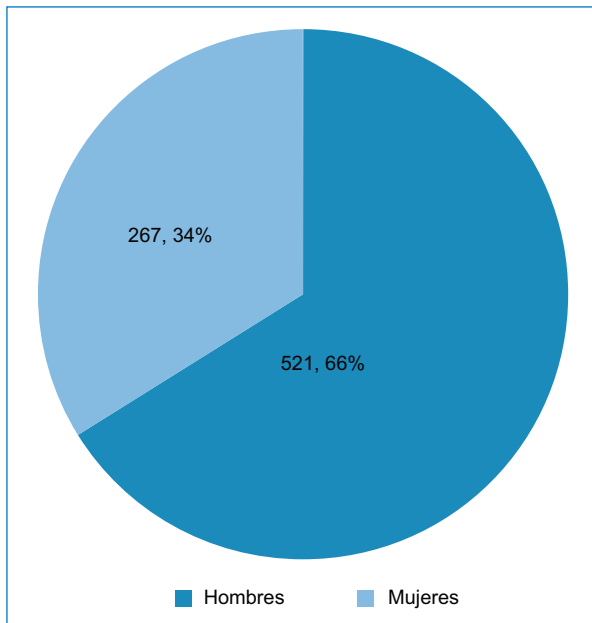


Figura 8. Distribución del género del primer autor en la totalidad de publicación científica.

Filiación institucional en Chile

Del total de 788 artículos, 651 (82,6%) presentaron filiación institucional chilena. De estos, 351 artículos (53,9%) se originaron en instituciones universitarias o centros asociados, mientras que 300 (46,1%) (Fig. 10) correspondieron a instituciones asistenciales sin afiliación universitaria directa reportada. A lo largo del periodo estudiado, se observó una participación sostenida de ambos tipos de instituciones, sin evidenciar variaciones marcadas en su contribución relativa a la producción científica de la revista. En cuanto al carácter institucional, la producción científica se concentró en

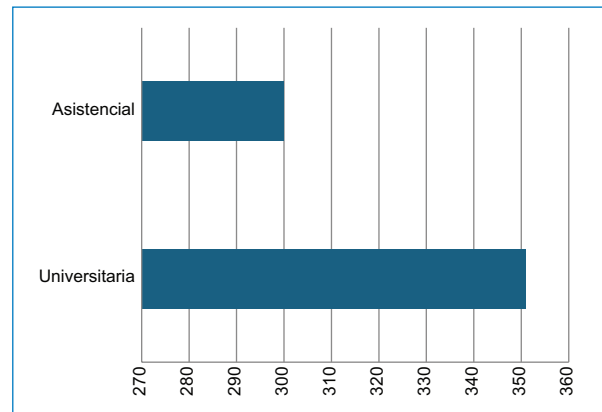


Figura 10. Representación de la totalidad de la producción científica según afiliación a instituciones universitarias.

instituciones privadas, seguidas por el sector público y, en menor proporción, por colaboraciones entre ambos sectores. Esta distribución se mantuvo relativamente estable en el tiempo, sin evidenciar cambios sustanciales en la contribución de cada sector a la producción científica de la revista (Fig. 11). En el contexto universitario, las instituciones más productivas fueron la Universidad de Chile (92 artículos; 26,2% del total nacional), la Pontificia Universidad Católica de Chile (75; 21,4%) y la Universidad del Desarrollo (68; 19,4%).

Discusión

Nuestro estudio ofrece una visión de la evolución editorial de la RChR durante sus tres décadas, siendo

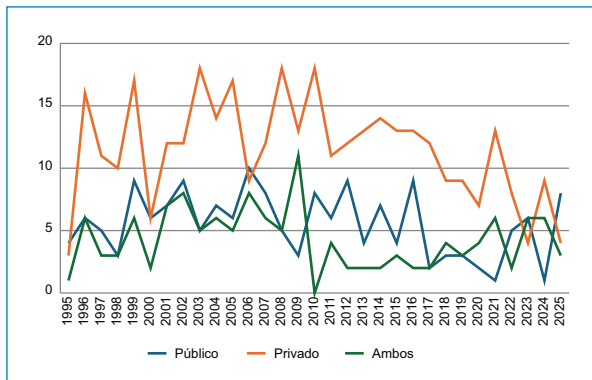


Figura 11. Distribución de la filiación institucional de los artículos chilenos (1995-2025).

el primer análisis bibliométrico integral aplicado a la revista, lo que permite contextualizar sus patrones de publicación dentro de las dinámicas descritas para revistas médicas y radiológicas a nivel regional e internacional. La trayectoria observada muestra un aumento inicial de publicaciones, con una meseta productiva en la década del 2000 y una disminución progresiva en los últimos años, patrón concordante con los fenómenos descritos en la literatura bibliométrica, donde factores como la competencia por publicar en revistas de mayor impacto y los cambios en los sistemas de indexación influyen de manera directa en la producción científica anual².

La predominancia de artículos de revisión por sobre los originales constituye uno de los hallazgos más relevantes del análisis. Este patrón se asemeja a lo descrito en otras revistas radiológicas latinoamericanas, como la *Revista Colombiana de Radiología*, donde los artículos de síntesis y actualización históricamente superan a los estudios de investigación original⁹. Tal distribución puede reflejar un sistema académico orientado más a la consolidación y actualización de conocimientos que a la generación de evidencia primaria, fenómeno frecuente en países con limitaciones de financiamiento y restricciones en la investigación clínica aplicada¹⁰. No obstante, la literatura bibliométrica subraya que la producción de estudios originales es un componente central para incrementar la visibilidad y el impacto de una revista³, por lo que fortalecer este tipo de contribuciones debiera constituir una prioridad estratégica.

En cuanto a las subespecialidades predominantes, abdomen y pelvis, musculoesquelético, cardio/tórax y neurorradiología concentraron la mayor proporción de publicaciones, lo que concuerda con los patrones

asistenciales y coincide con lo observado en otros estudios donde el mayor volumen de publicación está centrado principalmente en las áreas de alta demanda asistencial^{2,3}. Un hallazgo destacable es el sostenido aporte de artículos vinculados a educación en radiología¹¹, reflejando el interés creciente de la comunidad por la formación médica, siendo este un rasgo distintivo que posiciona a la RChR como un espacio sensible a las necesidades formativas de la comunidad local, en línea con la relevancia creciente que la literatura atribuye a la formación continua en contextos clínicos³.

Respecto del uso de técnicas de imagen, el predominio de la TC y la RM reproduce la transición tecnológica experimentada por la radiología en las últimas dos décadas, caracterizada por un desplazamiento desde métodos convencionales hacia técnicas tecnológicamente más complejas^{9,12}. Este patrón refleja tanto la disponibilidad tecnológica en nuestros centros asistenciales como el incremento sostenido en la complejidad diagnóstica de la práctica clínica.

Los resultados sobre autoría muestran una histórica predominancia masculina, con un aumento de participación femenina en los últimos años. Este cambio es consistente con tendencias descritas internacionalmente hacia una mayor equidad en la producción científica⁸. A pesar de ello, aún persisten desafíos estructurales para alcanzar una distribución paritaria, particularmente en especialidades médicas tradicionalmente masculinizadas, lo que constituye un desafío y una oportunidad para los comités editoriales en la adopción de políticas inclusivas.

En relación con la filiación institucional, el sector privado concentra la mayor cantidad de artículos. Este patrón se correlaciona con lo reportado en estudios previos, donde la producción científica suele estar más concentrada en centros privados con alta disponibilidad tecnológica¹³. Destaca una participación académica sólida por parte de las universidades, que contribuye de manera significativa al desarrollo de la investigación radiológica.

Finalmente, uno de los hallazgos más relevantes es la baja proporción de colaboración internacional, con un valor considerablemente bajo si se compara con estándares internacionales, representando una posible debilidad estructural o falta de difusión internacional de la RChR. Estudios bibliométricos previos en radiología y en ciencias de la salud subrayan que la internacionalización es uno de los principales componentes para incrementar el impacto, la citación y el posicionamiento editorial de una revista². Esto sugiere la necesidad de

promover estrategias que faciliten la vinculación con redes extranjeras, considerando que la colaboración internacional es un predictor positivo de visibilidad.

Conclusiones

Este estudio bibliométrico permite afirmar que la RChR ha desempeñado un importante rol en la consolidación de la identidad académica de la radiología chilena y en la difusión del conocimiento disciplinar durante sus tres décadas de existencia. La evolución de su producción, marcada por un crecimiento inicial, una meseta productiva y una caída reciente, es coherente con dinámicas observadas en otras revistas regionales, probablemente influenciadas por los procesos de indexación y competencia editorial.

El predominio de artículos de revisión sobre estudios originales, si bien ha contribuido a la consolidación de contenidos formativos, pone en evidencia la necesidad de fortalecer la generación de evidencia primaria. Asimismo, la concentración temática en subespecialidades clínicas tradicionales y el foco en educación radiológica destacan como fortalezas que articulan actividad asistencial y académica.

Los avances en equidad de género, la participación de universidades y centros asistenciales, y el uso extendido de técnicas avanzadas reflejan transformaciones positivas. No obstante, es baja la colaboración internacional detectada, pese a una creciente presencia de autoría extranjera en los años más recientes, probablemente marcado por la incorporación de la versión en inglés de la revista a partir de 2022.

Comparada con experiencias editoriales de Colombia, España y otras revistas temáticas de la región, la RChR se encuentra consolidada, pero aún existen desafíos determinantes para mejorar su proyección como revista científica tanto a nivel local como internacional.

Fortalezas y limitaciones

Una de las principales fortalezas de este estudio es la revisión exhaustiva de tres décadas de publicaciones, con una codificación manual sistemática realizada por dos revisores independientes, siguiendo recomendaciones metodológicas previamente descritas. Entre las limitaciones, se reconoce la ausencia de indicadores de impacto como citaciones o índice h. Asimismo, la base de datos se limitó a SciELO y los archivos históricos de la SOCHRAI, sin integrar plataformas internacionales como Scopus o WoS, lo que restringe

el análisis comparativo con otras revistas indexadas. Finalmente, no se aplicaron herramientas especializadas para el estudio de redes de coautoría o análisis de palabras clave, lo que limita la visualización de dinámicas colaborativas complejas.

Proyecciones a futuro

Los hallazgos de este estudio permiten sugerir líneas de acción para el fortalecimiento editorial de la RChR en el mediano y largo plazo. En primer lugar, se destaca la necesidad de incentivar la publicación de estudios originales, tanto en investigación clínica, como diagnóstica o educativa, pero de alto rigor metodológico. Este tipo de producción eleva el valor científico del contenido publicado e incrementa el potencial de citación y posicionamiento internacional de la revista.

En segundo lugar, se sugiere implementar políticas editoriales con enfoque de equidad de género, destinadas a reducir las brechas persistentes en la autoría femenina. Estas podrían incluir convocatorias temáticas, apoyo a investigadoras emergentes y visibilización de liderazgos femeninos en la disciplina.

Por último, se identifica dentro de las prioridades el fortalecimiento de la colaboración internacional. Para ello resultaría útil potenciar la invitación a autores extranjeros, el establecimiento de alianzas con sociedades científicas internacionales y la participación en proyectos editoriales conjuntos. Avanzar en estas tres dimensiones será fundamental para consolidar la RChR como una revista científica de referencia internacional.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales de pacientes ni requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial.

Los autores declaran que utilizaron inteligencia artificial para la redacción de este manuscrito. Se utilizó la herramienta ChatGPT 5.1 (OpenAI) exclusivamente para la revisión gramatical, ortográfica y de estilo del manuscrito, sin intervenir en la generación de contenido científico ni en el análisis de los resultados.

Referencias

1. Ladrón de Guevara D. Origins and history of the Austral Journal of Imaging: Revista Chilena de Radiología. *Austral J Imaging*. 2024;30(4):167-9.
2. Alcalá-Albert GJ, Parra-González ME. Bibliometric analysis of scientific production on nursing research in the Web of Science. *Educ Sci*. 2021;11(9):455.
3. Donthu N, Kumar S, Mukherjee D, Pandey N, Lim WM. How to conduct a bibliometric analysis: an overview and guidelines. *J Bus Res*. 2021;133:285-96.
4. García-Villar C, García-Santos JM. Indicadores bibliométricos para evaluar la actividad científica. *Radiología*. 2021;63(3):228-35.
5. Fornell-Pérez R, Merino-Bonilla JA, Morandeira-Arrizabalaga C, Marín-Díez E, Rovira F, Ros-Mendoza LH. Análisis bibliométrico de la revista Radiología en el periodo 2010-2019. *Radiología*. 2021;63(3):209-17.
6. Moreno-Mejía AM, Puerta-Gaviria LM, Canas-Arboleda AM, García-García HC. Análisis bibliométrico de la Revista Colombiana de Radiología: periodo 2005-2018. *Rev Colomb Radiol*. 2019;30(3):5187-93.
7. Revista Chilena de Radiología [Internet]. Santiago: SciELO Chile; desde 2002 [citado 27 jul 2025]. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_serial&pid=0717-9308
8. Rev Chil Radiol [Internet]. Santiago: Sociedad Chilena de Radiología; desde 2002 [citado 27 jul 2025]. Disponible en: <https://sochradi.cl/revista>
9. LILACS - Literatura Latinoamericana y del Caribe en Ciencias de la Salud [Internet]. São Paulo: BIREME/OPS/OMS; desde 1986 [citado 27 jul 2025]. Disponible en: <https://lilacs.bvsalud.org/es>
10. Selva-Pareja L, Ramos-Pla A, Mercadé-Melé P, Espart A. Evolution of scientific production on health literacy and health education: a bibliometric analysis. *Int J Environ Res Public Health*. 2022;19(7):4356.
11. Aksoy S, Aksoy U, Orhan K. An overview of the 35 years of research in the oral radiology: a bibliometric analysis. *Oral Radiol*. 2022;38:183-91.
12. Navarro-Ballester A, Merino-Bonilla JA, Ros-Mendoza LH, de-la-Puente-Gómez R, López-Sánchez JR, de-la-Puente-Gómez M et al. Publications on COVID-19 in radiology journals in 2020 and 2021: bibliometric citation and co-citation network analysis. *Eur Radiol*. 2023;33:3103-14.
13. Vitón-Castillo AA, Casabella-Martínez S, Germán-Flores L, García-Villacampa G, Bravo-Malagón Y. Análisis bibliométrico de la producción científica de la Revista Universidad Médica Pinareña, 2014-2017. *Rev Univ Méd Pinareña*. 2018;14(3):238-47.

Protección del cristalino en procedimientos fluoroscópicos: estándares internacionales, brechas de implementación y prioridades para Chile

Protection of the lens in fluoroscopic procedures: international standards, implementation gaps, and roadmap for Chile

Sergio Ramos-Avasola^{1*}, Nayareth Cardenas¹, Alexis Flores¹, Ignacio Galaz¹, Sebastián Ortega¹, Andrea Ovando-Tellez², Cristóbal Guerrero³, Jorge Gamarra⁴ y Nitza Espinosa⁵

¹Escuela de Tecnología Médica, Facultad de Ciencias, Universidad San Sebastián, Santiago; ²Escuela de Tecnología Médica, Facultad de Medicina, Universidad de Valparaíso, Valparaíso; ³Departamento de Salud Ocupacional, Instituto de Salud Pública; ⁴Departamento de Irradiaciones, Departamento de Dosimetría, Comisión Chilena de Energía Nuclear, Santiago; ⁵Unidad de Hemodinamia, Hospital Regional Dr. Juan Noé Crevani, Arica, Chile

Resumen

La fluoroscopia intervencionista expone a los equipos clínicos a radiación ionizante dispersa por el paciente, principal fuente de exposición ocupacional para el operador. El cristalino constituye un órgano crítico por su radiosensibilidad y ubicación fuera de la protección del delantal plomado. La evidencia epidemiológica en personal intervencionista ha documentado mayor frecuencia de opacidades subcapsulares posteriores y cataratas, con patrones compatibles con la geometría de exposición y evidencia de relación dosis-respuesta. Estos hallazgos sustentaron la reducción del límite ocupacional para el cristalino recomendada por la Comisión Internacional de Protección Radiológica y el fortalecimiento de medidas de radioprotección, incluida la vigilancia dosimétrica específica. Esta revisión integra evidencia radiobiológica y epidemiológica con estándares internacionales aplicables a procedimientos fluoroscópicos y analiza la situación chilena, caracterizada por un marco normativo no plenamente alineado con recomendaciones internacionales recientes y brechas en el monitoreo específico, incluida la magnitud Hp(3), y en el uso de protección ocular. Se propone fortalecer la protección del cristalino mediante actualización normativa, estandarización dosimétrica, optimización de prácticas, capacitación continua y vigilancia oftalmológica ocupacional, orientadas a reducir la exposición acumulativa y prevenir el daño lenticular.

Palabras clave: Fluoroscopia. Cristalino. Radioprotección. Dosimetría personal. Catarata radioinducida.

Abstract

Interventional fluoroscopy exposes clinical teams to ionizing radiation, primarily to scattered radiation generated by the interaction of the X-ray beam with the patient, which constitutes the main source of occupational exposure for the operator. The eye lens is a critical organ because of its radiosensitivity and location outside the protection provided by the lead apron. Epidemiological evidence among interventional personnel has documented a higher frequency of posterior subcapsular opacities and cataracts, with patterns consistent with exposure geometry and evidence of a dose-response relationship. These findings supported the reduction in the occupational dose limit for the eye lens recommended by the International Commission on Radiological Protection and the strengthening of radiation protection measures, including specific dosimetric monitoring. This review integrates radiobiological and epidemiological evidence with international standards applicable to fluoroscopic procedures and examines the Chilean context, characterized by a regulatory framework that is not fully aligned

*Correspondencia:

Sergio Ramos-Avasola
E-mail: sergioramosavasola@gmail.com

Fecha de recepción: 06-03-2026

Fecha de aceptación: 16-07-2026

DOI: 10.24875/AJI.26000019

Disponible en internet: 02-10-2026

Austral J. Imaging. 2026;32(4):213-222

www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

with recent international recommendations and by gaps in specific monitoring, including the operational quantity $H_p(3)$, and in the use of eye protection. Strengthening eye lens protection through regulatory updates, dosimetric standardization, optimization of practices, continuous training, and occupational ophthalmologic surveillance is proposed to reduce cumulative exposure and prevent radiation-induced lens damage.

Keywords: Fluoroscopy. Eye lens. Radiation protection. Personal dosimetry. Radiation-induced cataract.

Introducción

El intervencionismo guiado por fluoroscopia es central en la cardiología intervencionista, la radiología intervencionista y la cirugía endovascular. Sin embargo, el incremento sostenido en la complejidad y el volumen de estos procedimientos ha aumentado la exposición ocupacional a radiación ionizante en el personal sanitario, especialmente en operadores próximos al paciente y al campo de radiación dispersa¹. Como consecuencia, el cristalino ha adquirido relevancia crítica en protección radiológica debido a su radiosensibilidad y a su ubicación en la región cefálica, una zona frecuentemente expuesta y parcialmente desprotegida frente a la radiación dispersa^{2,3}.

Desde el punto de vista radiobiológico, el cristalino es un tejido avascular cuya transparencia depende de la organización estructural de proteínas y de la integridad funcional de las células epiteliales lenticulares. Debido a su limitada capacidad de reparación y recambio celular, el daño se acumula progresivamente tras exposiciones crónicas, incluso a bajas dosis⁴.

En concordancia con esta susceptibilidad biológica, la evidencia epidemiológica en personal intervencionista ha documentado un aumento de opacidades subcapsulares posteriores y cataratas. Los estudios transversales en cardiólogos intervencionistas muestran prevalencias superiores de estas alteraciones respecto de controles^{5,6}. Además, varios estudios describen un predominio del compromiso del ojo izquierdo, coherente con la geometría de exposición ocupacional^{5,7}.

La evidencia de cohorte en tecnólogos radiológicos ha demostrado un incremento significativo del riesgo de catarata con gradiente dosis-respuesta asociado a la carga acumulada de intervenciones⁸. Asimismo, las síntesis cuantitativas refuerzan esta asociación: un metaanálisis evidenció un exceso significativo de catarata en personal intervencionista⁹, y análisis posteriores, en otra revisión, confirmaron mayor riesgo de opacidades lenticulares tras el ajuste por confusores¹⁰. Además, las revisiones sistemáticas indican que el riesgo puede observarse incluso en rangos de dosis compatibles con antiguos límites ocupacionales¹¹.

En conjunto, estos hallazgos motivaron la revisión de los estándares internacionales de protección radiológica. La *International Commission on Radiological Protection* (ICRP) recomendó reducir el límite ocupacional del cristalino a 20 mSv/año promediado en 5 años, con un máximo de 50 mSv en un año individual¹²; esta recomendación fue reforzada específicamente para procedimientos intervencionistas¹³. Diversas jurisdicciones han incorporado estos criterios^{14,15}, pero en Chile el Decreto Supremo N.º 3, de 1985, del MINSAL mantiene un límite de 300 mSv/año¹⁶. Aunque existen orientaciones técnicas alineadas con los estándares internacionales¹⁷, persisten desafíos en la estandarización del monitoreo específico¹⁸ y en la implementación sistemática de protección ocular^{6,19}. Bajo este escenario, el presente artículo integra la evidencia radiobiológica y epidemiológica con el desarrollo normativo internacional para examinar las brechas nacionales e identificar lineamientos orientados a fortalecer la radioprotección ocular en procedimientos intervencionistas.

Fuentes de información y enfoque de síntesis

Este manuscrito corresponde a una revisión narrativa con enfoque estructurado, orientada a integrar evidencia relevante para la práctica clínica y la formulación de políticas en radioprotección ocupacional. Para ello, se revisó literatura científica, normativa internacional y nacional, así como documentos técnicos relacionados con el daño lenticular radioinducido en personal expuesto a procedimientos fluoroscópicos intervencionistas.

Se realizó una búsqueda bibliográfica estructurada, aunque no sistemática, en las bases de datos PubMed/MEDLINE, Web of Science, EBSCO, Scopus, Cochrane y SciELO para el periodo 2010-2025, utilizando términos relacionados con la dosis al cristalino ("eye lens dose", " $H_p(3)$ "), fluoroscopia intervencionista, catarata radioinducida y protección radiológica. La búsqueda identificó inicialmente 3217 registros, de los cuales 994 correspondieron a duplicados. Tras el proceso de selección se examinaron 2223 registros, se evaluaron 69 artículos en texto completo y la búsqueda se complementó

mediante seguimiento de citas (*citation chasing*), incorporando seis registros adicionales. Finalmente, la síntesis narrativa se sustentó en 21 estudios considerados metodológicamente pertinentes para los objetivos de esta revisión. La evidencia identificada se analizó de acuerdo con su calidad metodológica, relevancia clínica y pertinencia para los objetivos de esta revisión. Se otorgó especial énfasis a metaanálisis, estudios de cohorte y documentos regulatorios de referencia, entre ellos las publicaciones de la ICRP, el Organismo Internacional de Energía Atómica y la Directiva 2013/59/Euratom, complementados con normativa chilena vigente.

Aunque se aplicó un proceso estructurado de identificación y selección de la literatura con el propósito de mejorar la transparencia y la reproducibilidad de la búsqueda, la presente corresponde a una revisión narrativa; por ello, la selección final de la evidencia estuvo orientada por su calidad metodológica, relevancia clínica y contribución a los objetivos de la síntesis, más que por criterios formales de inclusión y exclusión propios de una revisión sistemática.

La información se sintetizó en cinco ejes temáticos: 1) límites regulatorios; 2) magnitudes dosimétricas y monitoreo; 3) medidas de protección colectiva y personal; 4) formación y vigilancia ocupacional; y 5) brechas para la implementación de estos estándares en el contexto chileno.

Fundamentos radiobiológicos del daño lenticular

El daño radioinducido del cristalino se clasifica como una reacción tisular caracterizada por alteraciones estructurales progresivas que comprometen su transparencia. Si bien tradicionalmente se postuló la existencia de un umbral de dosis para este tipo de efectos, la evidencia derivada de exposiciones crónicas a bajas tasas de dosis ha llevado a reconsiderar su magnitud real en contextos ocupacionales²⁰.

Sobre las células, la radiación ionizante induce estrés oxidativo persistente, daño en el ADN nuclear y mitocondrial, y alteraciones en la expresión génica en las células epiteliales del cristalino^{21,22}. Estas células regulan la diferenciación hacia fibras lenticulares maduras, proceso esencial para mantener la transparencia del cristalino. La disrupción sostenida de estos mecanismos favorece la acumulación de proteínas mal plegadas y agregados insolubles, en particular en la región subcapsular posterior, el subtipo más consistentemente asociado a la exposición ocupacional^{5,11}.

La susceptibilidad del cristalino se relaciona con su carácter avascular, su limitada capacidad de recambio celular y la ausencia de mecanismos eficaces para eliminar células dañadas. Además, los estudios experimentales y observacionales muestran que las exposiciones repetidas a dosis bajas pueden generar cambios subclínicos acumulativos, los cuales han cuestionado los umbrales históricamente considerados para catarata radioinducida, lo que ha justificado la revisión de los límites de dosis^{6,12,23}.

En intervencionismo, la dosis ocular depende principalmente de la radiación dispersa procedente del paciente. La distribución espacial y angular de dicha radiación es dinámica. Además, está influenciada por la proyección utilizada, la angulación del tubo, la altura de la mesa, la posición del detector y los desplazamientos del operador durante el procedimiento^{1,3}, factores que condicionan la exposición cefálica real.

Por tanto, la exposición ocular debe interpretarse como resultado de un escenario geométrico dinámico^{3,12}, lo que refuerza la necesidad de un posicionamiento anatómico adecuado del dosímetro, idealmente cercano al ojo dominante o a nivel de la cabeza o el cuello. Además, cuando exista asimetría significativa de la exposición, puede considerarse la utilización de doble dosimetría para mejorar la estimación de la dosis al cristalino.

La coherencia entre los mecanismos celulares descritos para el daño del cristalino y los patrones clínicos observados en estudios epidemiológicos, en particular el predominio de opacidades subcapsulares posteriores y la asimetría lateral de la exposición, ha sido documentada en personal de cardiología intervencionista ocupacionalmente expuesto a radiación ionizante^{5,7}.

Evidencia epidemiológica en personal expuesto a fluoroscopia

La evidencia epidemiológica sobre el daño lenticular ocupacional en intervencionismo fluoroscópico se ha consolidado a partir de estudios transversales con evaluación oftalmológica estandarizada, cohortes ocupacionales y síntesis cuantitativas.

Los primeros estudios transversales documentaron prevalencias elevadas de opacidades subcapsulares posteriores en cardiólogos intervencionistas y personal de laboratorio de hemodinamia, con diferencias significativas respecto de los controles^{5,6}. Asimismo, en varios estudios se observó un predominio del compromiso del ojo izquierdo, coherente con la disposición espacial del operador respecto al paciente y al tubo de rayos X^{5,7} (Fig. 1).

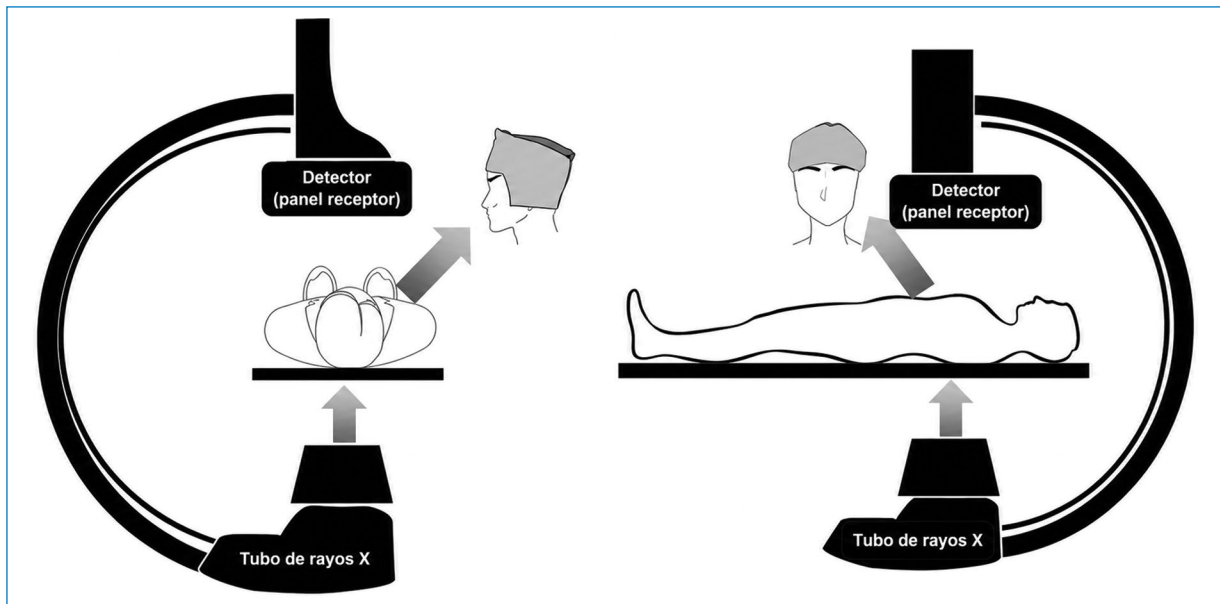


Figura 1. Esquema de la radiación dispersa generada por el paciente y su impacto preferente sobre el cristalino izquierdo del operador.

La evidencia de cohorte añade robustez metodológica. En una cohorte retrospectiva de tecnólogos radiológicos en los Estados Unidos de América, la participación en procedimientos guiados por fluoroscopia se asoció con un incremento significativo del riesgo de catarata, con un gradiente dosis-respuesta según el número acumulado de intervenciones asistidas⁸.

Las síntesis cuantitativas refuerzan estos hallazgos. En un metaanálisis realizado por Elmaraezy et al.⁹ se identificó un aumento significativo del riesgo de catarata en personal intervencionista, mientras que Alhasan et al.¹⁰ confirmaron un mayor riesgo de opacidades lenticulares tras el ajuste por factores de confusión relevantes. Por su parte, la revisión sistemática de Della Vecchia et al.¹¹ informa de que la mayoría de los estudios incluidos describieron un aumento del riesgo de catarata y opacidades subcapsulares posteriores en trabajadores sanitarios expuestos, observándose además estos hallazgos incluso con dosis acumulativas bajas, lo que ha contribuido a cuestionar la suficiencia protectora de los límites históricos (Tabla 1).

En conjunto, la existencia de un gradiente dosis-respuesta y la coherencia con los mecanismos radiobiológicos descritos^{8,21,22} configuran un cuerpo de evidencia que ha respaldado la revisión de los estándares internacionales de protección del cristalino en el intervencionismo con fluoroscopia.

Evolución y estado actual de los estándares internacionales de protección del cristalino: de ICRP 26 a ICRP 118

Los estándares internacionales de protección del cristalino han evolucionado en paralelo a la consolidación de evidencia radiobiológica y epidemiológica sobre el daño lenticular ocupacional. En 1977, la ICRP estableció un límite anual de 300 mSv en su *Publication 26*, bajo el supuesto de umbrales relativamente altos para la catarata radioinducida²⁴. Posteriormente, este límite fue reducido a 150 mSv/año en la *Publication 60*, reflejando una interpretación más conservadora de la evidencia disponible²⁰.

El punto de inflexión se consolidó con la *Publication 118*, que recomendó reducir el límite ocupacional del cristalino a 20 mSv/año promediado en 5 años, con un máximo de 50 mSv en un año individual. Esta recomendación se sustentó en la evidencia de daño del cristalino observado a dosis inferiores a los umbrales previamente considerados, especialmente en escenarios de exposición crónica a baja tasa de dosis. Como consecuencia, el énfasis de la protección radiológica se desplazó hacia la vigilancia específica del cristalino y la optimización sistemática de los procedimientos intervencionistas¹².

Tabla 1. Metaanálisis y revisiones sistemáticas sobre catarata radioinducida en personal expuesto a fluoroscopia

Autor (año)	Tipo de síntesis	Población incluida	Estudios y sujetos	Estimación del riesgo o hallazgo cuantitativo principal	Hallazgos clave
Elmaraezy et al. ⁹ (2017)	Metaanálisis	Cardiólogos intervencionistas y personal de hemodinamia	8 estudios, 2559 sujetos	RR: 3,21; IC 95%: 2,14-4,83	Mayor riesgo de opacidad o catarata subcapsular posterior en cardiólogos intervencionistas
				RR: 0,85; IC 95%: 0,55-1,30	No se observaron diferencias significativas en la frecuencia de opacidades nucleares entre los trabajadores expuestos y los controles
Alhasan et al. ¹⁰ (2022)	Metaanálisis	Médicos y trabajadores sanitarios expuestos ocupacionalmente	15 estudios, > 8500 sujetos	RR: 4,96; IC 95%: 4,23-5,82	Mayor riesgo de catarata en trabajadores sanitarios expuestos a radiación ionizante
				RR: 3,26; IC 95%: 2,39-4,43	Mayor riesgo de opacidad subcapsular posterior, incluso tras el ajuste por factores de confusión
Della Vecchia et al. ¹¹ (2020)	Revisión sistemática	Trabajadores sanitarios expuestos crónicamente	15 estudios, > 20.000 sujetos	La mayoría de los estudios incluidos informaron un aumento del riesgo de cataratas y de catarata subcapsular posterior en los trabajadores expuestos; se observaron opacidades en el cristalino incluso con dosis acumulativas bajas (sin RR combinado).	Mayor riesgo incluso a dosis acumuladas bajas; cuestiona la suficiencia de los límites históricos

IC 95%: intervalo de confianza del 95%; RR: riesgo relativo (el RR combinado solo estuvo disponible para los metaanálisis).

Recomendaciones para intervencionismo y vigilancia dosimétrica (ICRP 139)

La *Publication 139* de la ICRP reforzó la aplicación operativa de estas recomendaciones en procedimientos intervencionistas, enfatizando que la protección ocular debe integrarse en los programas de radioprotección ocupacional de las salas fluoroscópicas¹³. La ICRP destaca que el riesgo ocular no puede abordarse exclusivamente mediante magnitudes orientadas a dosis efectiva corporal, ya que el cristalino suele quedar fuera de la protección proporcionada por el delantal plomado y puede recibir dosis relevantes de radiación dispersa^{1,3,13}. En consecuencia, la *Publication 139* subraya la necesidad de implementar vigilancia dosimétrica específica del cristalino y estrategias sistemáticas de optimización en sala.

Desde la perspectiva metrológica, la vigilancia del cristalino se ha asociado crecientemente a la magnitud Hp(3), diseñada para aproximar la dosis equivalente a una profundidad de 3 mm, mientras que Hp(10) se orienta a la radiación penetrante y Hp(0,07) a tejidos superficiales o poco penetrantes¹⁸. Su implementación requiere la estandarización de magnitudes,

dispositivos y posicionamiento dosimétrico, particularmente en entornos con alta variabilidad geométrica^{1,3}.

Implementación en Europa, Japón y los Estados Unidos de América

La adopción de las recomendaciones de la ICRP ha sido heterogénea entre las distintas jurisdicciones. En Europa, la Directiva 2013/59/Euratom incorporó el nuevo límite y estableció obligaciones relacionadas con la vigilancia y la optimización de la protección radiológica, incluyendo la clasificación de trabajadores y programas de control dosimétrico acordes con prácticas de alto riesgo¹⁴.

De forma similar, Japón adoptó el límite de 20 mSv/año promediado en 5 años y desarrolló directrices técnicas específicas para el monitoreo del cristalino, favoreciendo la estandarización y la trazabilidad en escenarios de alta exposición¹⁵.

En contraste, en los Estados Unidos de América se mantiene un límite federal de 150 mSv/año²⁵, reflejando un desfase respecto de las recomendaciones contenidas en las publicaciones 118 y 139 de la ICRP, aunque existe un reconocimiento cada vez mayor del riesgo

Tabla 2. Comparación internacional de los límites y la vigilancia del cristalino en personal expuesto a fluoroscopia

Jurisdicción	Límite ocupacional cristalino	Incorporación formal ICRP 118/139	Magnitud recomendada para monitoreo	Estado de implementación en intervencionismo	Brechas principales
Unión Europea (Euratom 2013/59)	20 mSv/año (promedio 5 años)	Sí (obligatorio)	Hp(3) explícita	Guías específicas en varios países	Variabilidad entre Estados miembros
Japón	20 mSv/año (promedio 5 años)	Sí	Hp(3) con guías nacionales	Implementación avanzada en áreas de alta dosis	Necesidad de vigilancia continua
Estados Unidos (10 CFR 20)	150 mSv/año	No (plenamente actualizado)	Hp(10) predominante; Hp(3) emergente	Reconocimiento creciente del problema	Límite aún elevado respecto a ICRP
Chile (DS N.º 3/1985 y criterios ISP)	300 mSv/año en norma legal; 20 mSv operativamente (ISP)	Parcial (no incorporado en decreto)	Hp(3) no exigida universalmente	Implementación heterogénea	Falta de obligatoriedad formal y auditoría sistemática

DS: decreto supremo; ISP: instituto de salud pública.

ocupacional para el cristalino en procedimientos intervencionistas (Tabla 2).

En conjunto, los estándares internacionales contemporáneos convergen hacia límites de dosis más protectores^{12,13}, la vigilancia dosimétrica específica del cristalino^{3,18} y la optimización sistemática de la práctica intervencionista.

Situación actual en Chile

Marco regulatorio vigente

En Chile, la protección radiológica ocupacional para trabajadores expuestos a radiación ionizante en el ámbito sanitario se sustenta históricamente en el Decreto Supremo N.º 3 de 1985 del MINSAL, que establece un límite anual de dosis equivalente al cristalino de 300 mSv¹⁶. Este valor, alineado con los estándares internacionales de la década de 1970²⁴, contrasta con el consenso actual que redujo el límite ocupacional a 20 mSv/año promediado en 5 años^{12,13}. Más que representar una diferencia numérica, esta brecha tiene implicancias directas en el diseño de los programas de vigilancia ocupacional y para la priorización institucional de la radioprotección del cristalino.

Aunque en el plano operativo se han adoptado criterios técnicos más conservadores, orientados a aproximarse a las recomendaciones internacionales, persisten desafíos estructurales. En este contexto, el problema no se limita a actualizar un texto legal, sino a garantizar que la práctica clínica incorpore exigencias auditables, tales como la identificación de puestos de trabajo de riesgo, el uso efectivo de barreras de protección, la

vigilancia dosimétrica específica del cristalino y el seguimiento sistemático de la salud ocupacional^{13,14}.

Vigilancia dosimétrica y magnitud Hp(3)

En fluoroscopia intervencionista, la exposición ocular se origina principalmente por la radiación dispersa procedente del paciente^{1,3,13}. Por ello, el estándar contemporáneo enfatiza el monitoreo directo del cristalino mediante magnitudes diseñadas para este propósito, especialmente Hp(3)^{13,18}, que estima la dosis equivalente a 3 mm de profundidad y requiere calibración en un fantoma cefálico con trazabilidad metrológica y estimación de incertidumbre. Asimismo, esta calibración debe realizarse bajo configuraciones geométricas representativas de la radiación dispersa clínica, ya que la distribución espacial y angular del campo en la región cefálica es dinámica y depende de la proyección utilizada, la angulación del arco en C y la posición relativa del operador durante el procedimiento. Las principales recomendaciones internacionales sobre la monitorización dosimétrica del cristalino, incluyendo la finalidad de la medición, el número de dosímetros sugerido y su ubicación anatómica recomendada, se resumen en la [figura 1 del Material suplementario](#).

En Chile, la vigilancia dosimétrica del cristalino se ha basado tradicionalmente en magnitudes operativas utilizadas en la dosimetría corporal, particularmente Hp(10), diseñadas para estimar la dosis en tejidos profundos. Sin embargo, la literatura metrológica y las recomendaciones internacionales destacan la conveniencia de emplear magnitudes específicas para el cristalino, como Hp(3), que aproxima la dosis

equivalente a una profundidad de 3 mm en el tejido ocular. Por ello, cuando la dosis ocular se estima a partir de mediciones corporales convencionales, resulta necesario evaluar la validez de dicha aproximación mediante estudios comparativos entre Hp(10) y Hp(3) realizados bajo condiciones reales de operación. Esta necesidad es especialmente relevante en procedimientos fluoroscópicos intervencionistas, en los que la geometría de exposición puede diferir significativamente de los supuestos de la dosimetría corporal convencional^{13,18}.

La literatura señala que la evaluación dosimétrica del cristalino requiere un posicionamiento anatómico adecuado del dosímetro, preferentemente en la cabeza o el cuello, para aproximar de forma representativa la dosis equivalente ocular. Asimismo, en situaciones de exposición asimétrica puede considerarse la utilización de doble dosimetría para mejorar la estimación de la dosis ocupacional al cristalino^{3,13}.

Un monitoreo robusto exige además la estandarización de la magnitud dosimétrica, la adecuada ubicación del detector y la trazabilidad metrológica, particularmente en unidades con alta carga procedural^{12,13}. Además, la implementación sistemática de Hp(3) requiere el desarrollo de capacidad metrológica nacional, incluyendo laboratorios acreditados (por ejemplo, bajo ISO/IEC 17025), una cadena de trazabilidad documentada y la caracterización de la incertidumbre del sistema dosimétrico. Finalmente, en escenarios con asimetría de exposición o alta variabilidad geométrica, la doble dosimetría puede considerarse una medida complementaria para mejorar la representatividad de la estimación de la dosis del cristalino.

Evidencia nacional disponible

La evidencia publicada en Chile sobre dosis ocular y protección del cristalino en entornos intervencionistas continúa siendo escasa, aunque los resultados disponibles son compatibles con la evidencia internacional. La región cefálica puede recibir dosis relevantes y las medidas de protección ocular no siempre aseguran una reducción suficiente sin una optimización sistemática en sala. Un estudio nacional evaluó dosis oculares mediante dosímetros colocados delante y detrás de gafas plomadas, observando reducciones parciales atribuibles a esta protección, con variabilidad entre mediciones²⁶. Sin embargo, la comparación con los estándares actualmente vigentes depende de la magnitud operativa utilizada y del esquema de calibración empleado, factores determinantes para estimar las

dosis equivalentes a Hp(3)^{13,18}. En consecuencia, más que la ausencia de estudios epidemiológicos, la principal brecha nacional radica en la diferencia entre lo que debería medirse para gestionar adecuadamente el riesgo ocular y lo que actualmente se mide de manera estandarizada.

En ausencia de estudios epidemiológicos nacionales, la interpretación del riesgo ocupacional debe sustentarse en la evidencia internacional disponible, la cual ha documentado consistentemente un aumento del riesgo de catarata y de opacidades lenticulares en el personal expuesto durante procedimientos intervencionistas⁸⁻¹¹.

Estas observaciones refuerzan la importancia de implementar programas de monitoreo ocular específico y promover el uso sistemático de barreras de protección, en especial en procedimientos con alta carga fluoroscópica¹³.

Brechas de implementación en el contexto nacional

La comparación entre los estándares internacionales y la situación nacional permite identificar cuatro brechas interrelacionadas, aunque operativamente distinguibles.

La primera corresponde a una brecha regulatoria. La vigencia de un límite histórico de dosis para el cristalino¹⁶ configura un marco menos exigente que el recomendado internacionalmente^{12,13}, situación que tiende a limitar la priorización institucional de la radioprotección ocular en ausencia de obligaciones regulatorias explícitas y mecanismos formales de auditoría.

La segunda corresponde a una brecha metrológica. El monitoreo específico mediante Hp(3), recomendado para procedimientos intervencionistas^{13,18}, no se implementa de manera homogénea. En consecuencia, la estimación de la dosis ocular a partir de Hp(10) puede introducir incertidumbre cuando la exposición real depende de la geometría del procedimiento y del uso efectivo de barreras de protección^{1,3,13}.

La tercera corresponde a una brecha operativa relacionada con la implementación de las medidas de protección en sala. La evidencia demuestra que las barreras de protección, cuando se utilizan correctamente, reducen de manera significativa la dosis al cristalino^{1,3}. No obstante, su efectividad depende del comportamiento del equipo clínico, la disponibilidad de equipamiento y la cultura de seguridad institucional. Asimismo, las gafas plomadas presentan eficacia variable según su diseño y ajuste²⁷, mientras que las estrategias estructurales de protección integral permiten reducir aún más la exposición ocupacional²⁸.



Figura 2. Estrategias integradas para la protección del cristalino en procedimientos de radiología intervencionista.

La cuarta corresponde a una brecha en la vigilancia ocupacional. El control del cristalino requiere dosimetría específica y evaluaciones oftalmológicas periódicas para detectar cambios subclínicos^{5-7,9-11}. En ausencia de programas sistemáticos de vigilancia, tanto la detección precoz del daño lenticular como la evaluación de la efectividad de las medidas preventivas resultan limitadas.

Estrategias para fortalecer la protección del cristalino en Chile

Fortalecer la radioprotección ocular en Chile exige alinear estándares, medición y práctica clínica bajo un enfoque aplicable a salas fluoroscópicas reales. Es prioritario consolidar un estándar nacional coherente que traduzca el límite recomendado internacionalmente en criterios operacionales exigibles en unidades intervencionistas, incluyendo la identificación de puestos de trabajo de riesgo y la definición de niveles de investigación dosimétrica^{12-14,16}. Esta operacionalización debe complementarse con auditorías centradas en el cumplimiento efectivo de las medidas de protección en sala. Las

recomendaciones pueden integrarse en un esquema operativo que combine posicionamiento dosimétrico, estrategias de protección y vigilancia ocupacional periódica (Fig. 2).

La vigilancia dosimétrica debe avanzar hacia esquemas estandarizados que privilegien la medición directa con magnitudes apropiadas, idealmente Hp(3), definiendo el posicionamiento anatómico y criterios de interpretación específicos para procedimientos intervencionistas^{13,18}. Esto requiere capacidades metrológicas trazables para estimar la dosis al cristalino bajo condiciones reales de radiación dispersa.

La reducción de la dosis debe abordarse en su origen mediante la optimización sistemática de la práctica. Las pantallas suspendidas y los escudos correctamente utilizados reducen la exposición en la cabeza y el cuello²⁹. La protección ocular debe formar parte de una estrategia integral, considerando su variabilidad según diseño y ajuste, especialmente frente a la radiación dispersa oblicua²⁷. Asimismo, las soluciones de ingeniería y protección integral pueden disminuir la exposición ocupacional y reducir la dependencia de los delantales plomados²⁸.

Finalmente, la evidencia epidemiológica disponible ha documentado un aumento del riesgo de opacidades lenticulares y catarata en personal expuesto a radiación durante procedimientos intervencionistas, lo que refuerza la necesidad de programas de vigilancia ocupacional que incluyan dosimetría específica del cristalino y evaluación oftalmológica periódica para la detección precoz de cambios subclínicos^{5-7,9-11}.

Limitaciones

Este texto corresponde a una revisión basada en evidencia secundaria y documentos normativos. No incluye mediciones primarias nacionales estandarizadas de dosis al cristalino mediante Hp(3) ni auditorías sistemáticas del uso de barreras o de las prácticas de optimización en salas fluoroscópicas chilenas. Además, la evidencia epidemiológica nacional sobre catarata radioinducida en personal intervencionista es limitada, lo que restringe la estimación directa del riesgo y la evaluación cuantitativa del impacto de las intervenciones. Además, parte de la literatura emplea *proxis* de exposición y presenta heterogeneidad metodológica.

Conclusiones

La radioprotección del cristalino en el intervencionismo guiado por fluoroscopia constituye una prioridad sustentada por evidencia radiobiológica y epidemiológica consistente. La reducción del límite ocupacional recomendada por la ICRP implica la implementación de vigilancia dosimétrica específica y la optimización sistemática en sala. En Chile persiste un desfase entre el marco legal histórico y los estándares contemporáneos, junto con una heterogeneidad en el monitoreo ocular y en la estandarización metrológica.

Superar estas brechas requiere criterios nacionales exigibles, medición específica del cristalino mediante Hp(3), uso efectivo de barreras y vigilancia oftalmológica periódica en el personal de riesgo.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales, historias clínicas ni muestras biológicas humanas, por lo que no requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que se utilizó una herramienta de inteligencia artificial, específicamente GhatGPT, con el fin de mejorar la redacción, la puntuación y la ortografía. Tras utilizar dicha herramienta, los autores revisaron y editaron el contenido según necesidad, y asumen la plena responsabilidad del contenido de la publicación.

Material suplementario

El material suplementario se encuentra disponible en *Austral Journal of Imaging/Revista Chilena de Radiología* en línea (DOI: 10.24875/AJI.26000019). Este material es provisto por el autor de correspondencia y publicado *online* para el beneficio del lector. El contenido del material suplementario es responsabilidad única de los autores.

Referencias

1. Vañó E, Gonzáles L, Fernández JM, Haskal ZJ. Eye lens exposure to radiation in interventional suites: caution is warranted. *Radiology*. 2008;248:945-53.
2. Hamada N. Ionizing radiation sensitivity of the ocular lens and its dose rate dependence. *Int J Radiat Biol*. 2017;93:1024-34.
3. Martin CJ. Eye lens dosimetry for fluoroscopically guided clinical procedures: practical approaches to protection and dose monitoring. *Radiat Prot Dosimetry*. 2016;169:286-91.
4. Hammer GP, Scheidemann-Wesp U, Samkange-Zeeb F, Wicke H, Neriishi K, Blettner M. Occupational exposure to low doses of ionizing radiation and cataract development: a systematic literature review and perspectives on future studies. *Radiat Environ Biophys*. 2013;52:303-19.
5. Ciraj-Bjelac O, Rehani MM, Sim KH, Liew HB, Vañó E, Kleiman NJ. Risk for radiation-induced cataract for staff in interventional cardiology: is there reason for concern? *Catheter Cardiovasc Interv*. 2010;76:826-34.
6. Vañó E, Kleiman NJ, Duran A, Rehani MM, Echeverri D, Cabrera M. Radiation cataract risk in interventional cardiology personnel. *Radiat Res*. 2010;174:490-5.
7. Jacob S, Boveda S, Bar O, Brézin A, Maccia C, Laurier D, et al. Interventional cardiologists and risk of radiation-induced cataract: results of a French multicenter observational study. *Int J Cardiol*. 2013;167:1843-7.
8. Velázquez-Kronen R, Borrego D, Gilbert ES, Miller DL, Moysich KB, Freudenheim JL, et al. Cataract risk in US radiologic technologists assisting with fluoroscopically guided interventional procedures: a retrospective cohort study. *Occup Environ Med*. 2019;76:317-25.
9. Elmarazy A, Morra ME, Mohammed AT, Al-Habbab A, Elgebaly A, Ghazy AA, et al. Risk of cataract among interventional cardiologists and catheterization laboratory staff: a systematic review and meta-analysis. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2017;90:1-9.
10. Alhasan AS, Aalam WA. Eye lens opacities and cataracts among physicians and healthcare workers occupationally exposed to radiation. *Saudi Med J*. 2022;43:665-77.
11. Della-Vecchia E, Modenese A, Loney T, Muscatello M, Silva-Paulo M, Rossi G, et al. Risk of cataract in health care workers exposed to ionizing radiation: a systematic review. *Med Lav*. 2020;111:269-84.

12. International Commission on Radiological Protection. ICRP statement on tissue reactions and early and late effects of radiation in normal tissues and organs: threshold doses for tissue reactions in a radiation protection context. ICRP Publication 118. Ann ICRP. 2012;41:1-322.
13. International Commission on Radiological Protection. Occupational radiological protection in interventional procedures. ICRP Publication 139. Ann ICRP. 2018;47:1-118.
14. European Society of Radiology. Summary of the European Directive 2013/59/Euratom: essentials for health professionals in radiology. Insights Imaging. 2015;6:411-7.
15. Yokoyama S, Tsujimura N, Hashimoto M, Yoshitomi H, Kato M, Kurosawa T, et al. The Japan Health Physics Society guideline on dose monitoring for the lens of the eye. J Radiat Prot Res. 2022;47:1-7.
16. Chile. Ministerio de Salud. Aprueba Reglamento de Protección Radiológica de Instalaciones Radioactivas. Decreto Supremo N.º 3. Santiago: Biblioteca del Congreso Nacional de Chile; 1985. (Consultado el 06-07-2026.) Disponible en: <https://www.bcn.cl/leychile/navegar?idNorma=1026879>.
17. Instituto de Salud Pública de Chile. Departamento de Salud Ocupacional. Elementos para considerar en un programa de vigilancia epidemiológica de trabajadores ocupacionalmente expuestos a radiaciones ionizantes. Santiago: Instituto de Salud Pública de Chile; 2023.
18. Ubeda C, Nocetti D, Inzulza A, Oyarzún C, Alarcón R. Magnitudes y unidades para dosimetría del personal ocupacionalmente expuesto en radiodiagnóstico e intervencionismo. Rev Chil Radiol. 2018;24:5-11.
19. Andreassi MG, Piccaluga E, Guagliumi G, Del Greco M, Gaita F, Picano E. Occupational health risks in cardiac catheterization laboratory workers. Circ Cardiovasc Interv. 2016;9:e003273.
20. International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Ann ICRP. 1991;21:1-201.
21. Ainsbury EA, Bouffler SD, Dörr W, Graw J, Muirhead CR, Edwards AA, et al. Radiation cataractogenesis: a review of recent studies. Radiat Res. 2009;172:1-9.
22. Ainsbury EA, Dalke C, Hamada N, Benadjaoud MA, Chumak V, Ginjaume M, et al. Radiation-induced lens opacities: epidemiological, clinical and experimental evidence, methodological issues, research gaps and strategy. Environ Int. 2021;146:106213.
23. Kleiman NJ. Radiation cataract. Ann ICRP. 2012;41:80-97.
24. International Commission on Radiological Protection. Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 26. Ann ICRP. 1977;1:1-53.
25. United States Nuclear Regulatory Commission. Standards for protection against radiation: 10 CFR Part 20. Subpart C – Occupational dose. Washington (DC): United States Nuclear Regulatory Commission; 2006. Disponible en: <https://www.govinfo.gov/app/collection/cfr/2006?utm>
26. Zett-Lobos C, Vera-Muñoz F, Arriola-Álvarez K, Díaz-Ramos O, Gamarra J, Fernández-Palomo C, et al. Protección contra la radiación ionizante mediante gafas de vidrio plomado durante cardiología intervencionista. Rev Med Chil. 2013;141:63-9.
27. Honorio da Silva E, Martin CJ, Vanhavere F, Dabin J, Buls N. An investigation into potential improvements in the design of lead glasses for protecting the eyes of interventional cardiologists. J Radiol Prot. 2022; 42(3):031509.
28. Fattal P, Goldstein JA. A novel complete radiation protection system eliminates physician radiation exposure and leaded aprons. Catheter Cardiovasc Interv. 2013;82:11-6.
29. Fetterly KA, Magnuson DJ, Tannahill GM, Hindal MD, Mathew V. Effective use of radiation shields to minimize operator dose during invasive cardiology procedures. JACC Cardiovasc Interv. 2011; 4:1133-9.

Radiómica en cáncer de pulmón: avances y desafíos en la práctica clínica

Radiomics in lung cancer: advances and challenges for clinical practice

Fernando A. Ramos-Zaga 

Dirección de Investigación, Universidad Privada del Norte, Lima, Perú

Resumen

La radiómica basada en inteligencia artificial ha emergido como un enfoque capaz de transformar la imagen médica en biomarcadores cuantitativos, en un contexto donde el cáncer de pulmón continúa siendo la principal causa de mortalidad oncológica global. El objetivo del artículo es analizar el estado actual de esta tecnología como herramienta de caracterización fenotípica no invasiva, evaluando su capacidad para extraer biomarcadores y los desafíos de estandarización que condicionan su implementación clínica. Los resultados muestran que los modelos radiómicos permiten predecir alteraciones moleculares, estimar la respuesta a la inmunoterapia y mejorar la estratificación pronóstica con desempeño clínicamente relevante; sin embargo, persisten limitaciones asociadas a la variabilidad en la adquisición de imágenes, la segmentación, la reproducibilidad y la interpretabilidad. Se concluye que, aunque su potencial es sustantivo, la adopción clínica de la radiómica requiere una estandarización robusta, una validación multicéntrica y unos marcos de gobernanza que garanticen su integración segura en la medicina personalizada.

Palabras clave: Biomarcadores de imagen cuantitativos. Aprendizaje profundo. Traslación clínica.

Abstract

Artificial intelligence-based radiomics has emerged as an approach capable of transforming medical imaging into quantitative biomarkers, in a context where lung cancer remains the leading cause of cancer-related mortality worldwide. The objective of this article is to analyze the current state of this technology as a non-invasive phenotypic characterization tool, assessing its ability to extract biomarkers and the standardization challenges that condition its clinical implementation. The findings indicate that radiomic models can predict relevant molecular alterations, estimate response to immunotherapy, and improve prognostic stratification with clinically meaningful performance; however, limitations persist related to variability in image acquisition, tumor segmentation, reproducibility, and model interpretability. It is concluded that, although its potential is substantial, the clinical adoption of radiomics requires robust standardization, multicenter validation, and governance frameworks to ensure its safe integration into precision medicine.

Keywords: Quantitative imaging biomarkers. Deep learning. Clinical translation.

Correspondencia:

Fernando A. Ramos-Zaga
E-mail: fernandozaga@gmail.com

Fecha de recepción: 31-07-2025
Fecha de aceptación: 25-06-2026
DOI: 10.24875/AJI.25000058

Disponible en internet: 02-10-2026
Austral J. Imaging. 2026;32(4):223-231
www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

El cáncer de pulmón representa la principal causa de mortalidad oncológica global y genera un impacto significativo en años de vida perdidos por discapacidad^{1,2}. La población de interés comprende pacientes con neoplasias pulmonares, específicamente del tipo de células no pequeñas, cuya clasificación ha guiado tradicionalmente la conducta terapéutica. Debido a la marcada heterogeneidad biológica de estos tumores, ha surgido la necesidad de enfoques de medicina personalizada centrados en las características individuales de cada caso. Dicho enfoque busca optimizar la clasificación del riesgo y la elección del tratamiento para reducir la mortalidad y mejorar la supervivencia con calidad de vida.

La radiómica se define como la extracción y el análisis de una gran cantidad de datos cuantitativos a partir de imágenes médicas mediante sistemas de computación avanzada^{3,4}. Este campo permite transformar estudios radiológicos habituales en información numérica compleja mediante el uso de modelos estadísticos y redes neuronales. Se identifican dos vertientes principales: el uso de medidas matemáticas predefinidas por expertos humanos y el empleo de aprendizaje profundo (*deep learning*), donde el sistema identifica patrones de forma autónoma^{5,6}. Su utilidad clínica ha sido explorada en el diagnóstico, la identificación de perfiles moleculares y la predicción de la respuesta al tratamiento.

En la práctica oncológica, la radiómica aborda las limitaciones de las biopsias físicas, las cuales pueden ser incompletas debido a la variabilidad interna del tumor o implicar riesgos para el paciente⁷. Dicha tecnología ha demostrado capacidad para identificar de manera no invasiva alteraciones genéticas como las mutaciones en *EGFR* o *ALK*, además de estimar la presencia de marcadores inmunológicos como PD-L1^{8,9}. Su integración como herramienta complementaria facilita la clasificación del pronóstico y la anticipación de la respuesta a la inmunoterapia, aportando un valor añadido en la planificación del cuidado clínico.

A pesar del potencial planteado, existen desafíos metodológicos que dificultan el uso generalizado de estos biomarcadores en el ámbito clínico. La falta de uniformidad en la toma de imágenes y en el procesamiento de los datos genera dudas sobre si los resultados obtenidos en un centro pueden replicarse con éxito en otro¹⁰. Persisten interrogantes sobre la estabilidad de estas medidas y sobre la claridad con la que se pueden interpretar los resultados generados por sistemas de inteligencia artificial complejos.

El objetivo de este artículo es analizar el estado actual de la radiómica basada en inteligencia artificial como herramienta de caracterización fenotípica no invasiva en cáncer de pulmón, evaluando su capacidad para extraer biomarcadores cuantitativos y los desafíos de estandarización que condicionan su implementación clínica. El análisis busca sintetizar los fundamentos de esta tecnología y las limitaciones que deben superarse para consolidar su papel en la medicina personalizada.

Método

Se realizó una revisión narrativa orientada a analizar el estado actual de la radiómica basada en inteligencia artificial aplicada al cáncer de pulmón.

En consonancia con este encuadre metodológico, la estrategia de búsqueda se aplicó en bases de datos biomédicas internacionales, incluyendo PubMed, Scopus y Web of Science. Se utilizó la siguiente ecuación de búsqueda: (*"radiomics" OR "radiogenomics"*) AND (*"artificial intelligence" OR "machine learning" OR "deep learning"*) AND (*"lung cancer" OR "non-small cell lung cancer"*). Se incluyeron artículos publicados en inglés entre 2012 y 2026, periodo que coincide con la introducción del concepto de radiómica y su desarrollo en oncología torácica.

A partir de esta estrategia de identificación, los criterios de inclusión comprendieron estudios originales, revisiones y metaanálisis que abordaran la aplicación de la radiómica o la radiogenómica en el cáncer de pulmón, con énfasis en extracción de biomarcadores, predicción clínica o aspectos de estandarización. Se excluyeron estudios con información insuficiente, duplicados, publicaciones no revisadas por pares y trabajos centrados en otras neoplasias sin análisis específico en pulmón.

Con dichos criterios, la selección de los documentos se realizó mediante revisión de títulos, resúmenes y textos completos. La extracción de información consideró variables relacionadas con tipo de modelo, aplicaciones clínicas, métricas de desempeño y limitaciones técnicas. El análisis se desarrolló mediante síntesis temática, agrupando la evidencia en categorías conceptuales. Al tratarse de una revisión narrativa basada en fuentes secundarias, no se requirió aprobación por un comité de ética.

Fundamentos de la radiómica en la caracterización tumoral no invasiva

La radiómica propone un cambio de paradigma fundamental al transformar la imagen médica como un

simple retrato visual en una fuente de datos cuantitativos de alta complejidad⁴. Esta evolución conceptual supone que cada vóxel, la unidad básica de volumen de una imagen en tres dimensiones, contiene información biográfica que supera la simple observación anatómica tradicional. De este modo, se configura un sustrato digital en el que la biología tumoral queda inscrita en patrones imperceptibles para el ojo humano⁷. La premisa central es que estas características de imagen reflejan diferencias biológicas específicas relacionadas con procesos críticos como el crecimiento y la división celulares¹¹.

El proceso de medición se organiza mediante la extracción sistemática de descriptores, parámetros matemáticos que caracterizan la imagen, agrupados en categorías claras. Las características de primer orden analizan la distribución estadística de los niveles de gris sin considerar la posición de los píxeles, mientras que los descriptores de forma miden propiedades geométricas tridimensionales como el volumen y la esfericidad del tumor¹². Por su parte, las características de textura calculan patrones de organización espacial que permiten detectar la heterogeneidad del tejido tumoral a una escala mesoscópica que el clínico no puede percibir visualmente¹³.

Sobre esa base metodológica, el uso de filtros matemáticos sobre la imagen original añade una capa de análisis al resaltar información en diferentes escalas espaciales. Por ejemplo, los filtros denominados *wavelet* descomponen la imagen para aislar detalles finos o gruesos, mientras que otros operadores acentúan los bordes de la lesión¹⁴. Esta capacidad de procesamiento genera centenares de datos por cada lesión, lo que exige el uso de métodos de selección rigurosos para asegurar que los modelos resultantes sean fiables y fáciles de interpretar para el equipo médico³.

En continuidad con este desarrollo, el campo ha evolucionado desde una fase artesanal, en la que los expertos definían manualmente qué medir, hasta el uso de arquitecturas de aprendizaje profundo. Mientras que el enfoque tradicional se basa en el conocimiento médico previo, las redes neuronales modernas aprenden por sí mismas a identificar los patrones más útiles para predecir el comportamiento de la enfermedad⁵. Esto cambia la naturaleza del biomarcador, que pasa de ser una medida matemática directa a una representación compleja procesada de forma autónoma por la inteligencia artificial⁶.

Como extensión de este cambio, los modelos de inteligencia artificial en tres dimensiones han reforzado este avance al procesar el volumen completo del tumor,

capturando detalles espaciales que las imágenes planas ignoran¹⁵. Recientemente, se ha propuesto tratar las tomografías computarizadas como si fueran secuencias de video, aplicando redes entrenadas para reconocer movimientos con el fin de extraer información sobre la textura volumétrica profunda¹⁶. Estas herramientas generan representaciones que ofrecen una visión pronóstica independiente del tamaño del tumor y de su estadio clínico convencional⁵.

En esa misma línea de refinamiento conceptual, una propuesta reciente es la denominada «radiómica tensorial», que busca evitar la rigidez de usar un solo valor para cada característica. En su lugar, el sistema analiza múltiples variantes de un mismo descriptor bajo diferentes configuraciones técnicas¹⁷. Este enfoque permite que el modelo seleccione el contexto más adecuado para cada dato, manteniendo la claridad de las medidas tradicionales mientras se aprovecha la gran potencia de cálculo de la inteligencia artificial¹⁷.

Desde una perspectiva integradora, el nexo entre los datos digitales y el microambiente tumoral constituye el fundamento conceptual de esta disciplina. La heterogeneidad interna del tumor se manifiesta de forma simultánea a nivel molecular, celular y radiológico⁷. Las medidas de textura capturan estas variaciones, mientras que los datos de forma reflejan procesos biológicos vinculados a la capacidad de invasión del cáncer¹⁸. Se ha demostrado que estos patrones en la imagen se correlacionan con vías biológicas fundamentales, como el metabolismo celular y la respuesta del sistema inmunitario¹⁹.

En términos espaciales, la interfase entre el tumor y el parénquima sano ha emergido como un área de gran valor informativo. Esta zona de transición en el borde tumoral contiene datos críticos sobre la infiltración de células y el potencial agresivo de la lesión⁹. Al incluir las regiones que rodean al tumor en el análisis, se logra integrar información valiosa sobre el microambiente de la enfermedad, mejorando sustancialmente la capacidad predictiva de los modelos actuales²⁰.

A la luz de estos fundamentos, el desarrollo conceptual de la radiómica como sistema de extracción de biomarcadores cuantitativos a partir de la imagen médica establece las bases para su aplicación clínica. Sin embargo, la validez de este enfoque no puede sostenerse únicamente en su plausibilidad, sino que requiere ser contrastada con evidencia empírica robusta en escenarios clínicos reales. En consecuencia, la siguiente sección aborda de manera explícita la capacidad predictiva de las firmas radiogenómicas en el cáncer de pulmón, evaluando su desempeño en la

identificación de alteraciones moleculares, la estratificación pronóstica y la predicción de la respuesta terapéutica.

Capacidad predictiva de los biomarcadores radiogenómicos en oncología torácica

La radiogenómica permite integrar las características cuantitativas de la imagen con los perfiles moleculares del tumor, estableciendo un método de biopsia digital capaz de identificar alteraciones genéticas tratables sin recurrir a procedimientos invasivos²¹. Esta aproximación es fundamental en el cáncer de pulmón de células no pequeñas, en el que la variabilidad biológica de las mutaciones impide que una muestra de tejido aislada refleje la realidad global de la lesión, lo que suele generar errores de muestreo con consecuencias directas en la terapia⁷.

Bajo esta premisa, la predicción no invasiva de mutaciones en el receptor del factor de crecimiento epidérmico (EGFR) es una de las aplicaciones más sólidas de esta tecnología. Los modelos basados en datos tomográficos han alcanzado niveles de precisión (área bajo la curva) superiores a 0,80, permitiendo identificar a los pacientes candidatos a tratamientos específicos con una fiabilidad clínicamente relevante⁸. De ese modo, se combinan patrones de textura obtenidos mediante filtros de procesamiento de imagen con variables clínicas, como el hábito tabáquico, demostrando que el uso de múltiples fuentes de datos supera la eficacia de cualquier parámetro analizado de forma aislada²².

De manera complementaria, esta capacidad de discriminación se extiende a las alteraciones del gen *ALK*, cuya detección es crítica para seleccionar fármacos específicos como crizotinib o alectinib. Los modelos de análisis avanzado han demostrado ser capaces de identificar patrones de imagen asociados a la translocación EML4-*ALK*, funcionando como una herramienta de apoyo que complementa a las pruebas moleculares tradicionales²³. Dicha evidencia respalda la utilidad de la caracterización genética no invasiva en casos en los que la toma de tejido es insuficiente o el riesgo de la biopsia es elevado²¹.

En paralelo, la medición del perfil inmunológico del tumor mediante estas herramientas ha cobrado gran relevancia ante el uso creciente de la inmunoterapia. La predicción de la expresión de PD-L1 a través de modelos de inteligencia artificial ha logrado una precisión de 0,84 para identificar a pacientes con alta probabilidad

de respuesta a los inhibidores de puntos de control²⁴. Esta metodología supera las limitaciones de la inmunohistoquímica convencional, especialmente ante la distribución irregular de PD-L1 en el tumor que suele provocar falsos negativos en las biopsias por aguja⁹.

A partir de esta base, la evaluación de la respuesta a la inmunoterapia ha mostrado ser eficaz en distintos tipos de cáncer, identificando un patrón de respuesta común tanto en cáncer de pulmón como en melanoma⁹. Los datos más útiles se obtienen al analizar la zona de transición entre el borde del tumor y el tejido sano, lo que ofrece información sobre la actividad del sistema inmunitario que no es posible detectar con criterios visuales convencionales como el sistema RECIST (*Response Evaluation Criteria in Solid Tumors*)²⁵. Estas firmas de imagen superan la capacidad predictiva del estadio clínico o del estado mutacional por sí solos⁹.

En cuanto al pronóstico, su predicción mediante análisis cuantitativo de imágenes ha sido validada en amplios grupos de pacientes a largo plazo. Los modelos que integran datos de tomografía computarizada con contraste y variables clínicas alcanzan una alta concordancia en la predicción de la supervivencia global, generando curvas de riesgo individualizadas²⁶. El uso de filtros de procesamiento de imagen sobre los datos de textura mejora la capacidad de distinguir el comportamiento de la enfermedad, capturando variaciones biológicas asociadas al pronóstico oncológico⁷.

Asimismo, la distinción entre los subtipos histológicos principales del cáncer de pulmón, como el adenocarcinoma y el carcinoma escamoso, también es posible mediante estas técnicas. Los sistemas basados en parámetros de forma y textura logran una clasificación precisa en estudios independientes¹⁸. Esta diferenciación clínica tiene un impacto terapéutico directo, pues permite ajustar los esquemas de quimioterapia y seleccionar a los pacientes aptos para terapias dirigidas²⁷.

Desde una perspectiva quirúrgica, la detección preoperatoria de la diseminación tumoral a través de espacios aéreos es una aplicación relevante del análisis computacional en tres dimensiones. Este hallazgo patológico es determinante para decidir entre una resección limitada o una lobectomía. Los modelos de inteligencia artificial aplicados a tomografías computarizadas con contraste han demostrado ser superiores a los métodos de evaluación tradicionales¹⁵. Esta tecnología permite detectar patrones espaciales vinculados a la invasión microscópica, uniendo la imagen macroscópica con la realidad celular del paciente⁵.

Con proyección terapéutica, el uso de estas herramientas en la planificación de radioterapia estereotáxica permite anticipar la sensibilidad del tumor al tratamiento. Los modelos basados en lógica avanzada han logrado altas tasas de precisión en la identificación de pacientes que responderán de forma favorable en estadios tempranos²⁸. La incorporación del análisis del movimiento respiratorio durante la captura de datos mejora la estabilidad de estos modelos frente a la variabilidad fisiológica propia del paciente²¹.

La evidencia acumulada sobre el rendimiento de la radiogenómica demuestra un potencial clínico significativo en múltiples dominios, incluyendo la caracterización molecular, la predicción de la respuesta a los tratamientos y la estimación del pronóstico. No obstante, la heterogeneidad de los resultados y su dependencia de condiciones técnicas específicas obligan a examinar críticamente la solidez metodológica de estos hallazgos. En consecuencia, la sección siguiente introduce de forma explícita el análisis de las limitaciones técnicas y los problemas de reproducibilidad de los biomarcadores radiómicos, con énfasis en las fuentes de variabilidad que condicionan su generalización.

Limitaciones técnicas y reproducibilidad de los biomarcadores radiómicos

La consolidación clínica de la radiómica enfrenta su principal obstáculo en la fragilidad técnica de los datos cuantitativos, cuya estabilidad depende de una cadena compleja de procesos físicos, matemáticos y de calibración. La heterogeneidad en los protocolos de adquisición de las tomografías computarizadas constituye la primera fuente de variabilidad. Parámetros técnicos como el voltaje, la corriente del equipo, el grosor del corte y el algoritmo de reconstrucción modifican de manera sustancial los valores de las medidas obtenidas sobre una misma lesión²⁹. Esta sensibilidad técnica determina que los exámenes realizados en distintos escáneres puedan generar resultados incompatibles, lo que compromete la posibilidad de aplicar los modelos predictivos en diferentes instituciones¹⁰.

A la luz de esta variabilidad inicial, los estudios realizados con objetos de prueba estándar o fantasmas han documentado grandes variaciones en las características de textura cuando se alteran los parámetros físicos de adquisición. Esto evidencia que la estabilidad de los biomarcadores no puede asumirse sin una verificación previa²⁹. Factores como la dosis de radiación, el tiempo de exploración y la fase respiratoria del paciente introducen variaciones técnicas que se propagan por todo

el proceso de análisis, generando artefactos que pueden ocultar la información biológica real del tumor³⁰. Esta vulnerabilidad obliga a buscar la armonización de los protocolos antes de cualquier uso en la práctica médica diaria²⁰.

Considerando estas fuentes de error, el proceso de reconstrucción de la imagen añade otra capa de variabilidad que ha sido caracterizada de manera sistemática. Al comparar algoritmos diagnósticos clásicos con métodos avanzados basados en estadísticas bayesianas o aprendizaje profundo se ha demostrado que solo un grupo reducido de medidas mantiene una robustez consistente. De hecho, apenas 27 rasgos cumplen con criterios estrictos de estabilidad técnica³¹. Las características que analizan la textura del tejido suelen ser más resistentes al ruido de la imagen, mientras que las medidas de intensidad muestran fluctuaciones acentuadas ante cambios en los niveles de señal del equipo³¹.

En este marco de inestabilidad, la segmentación tumoral, o delimitación de la lesión, representa un punto crítico adicional. Dado que los datos se generan a partir del volumen contorneado, cualquier variación en los bordes afecta directamente al resultado final. La delimitación manual introduce sesgos entre distintos observadores, con niveles de concordancia que descienden de manera notable en lesiones con márgenes irregulares o cercanas a vasos sanguíneos³². Esta debilidad afecta especialmente a las características que miden la forma del tumor y a aquellas obtenidas mediante filtros de procesamiento avanzado¹².

Frente a esta limitación, aunque los métodos de segmentación automática han mejorado la consistencia, su rendimiento todavía puede disminuir en tumores con bordes poco definidos³³. Una estrategia para asegurar la fiabilidad es el uso de pruebas de estrés, como la aplicación de pequeñas rotaciones o cambios artificiales en el contorno, para identificar únicamente aquellas medidas que resisten estas variaciones¹⁹. Solo los rasgos que mantienen una estabilidad superior al 90% frente a estas alteraciones pueden considerarse candidatos legítimos para ser utilizados como biomarcadores clínicos¹⁰.

Desde otra dimensión técnica, la falta de uniformidad entre las herramientas informáticas empleadas es también una fuente importante de variabilidad. Dos plataformas de *software* distintas pueden entregar valores diferentes para una misma imagen. Para resolver esto, la Image Biomarker Standardisation Initiative (IBSI) coordinó a 25 equipos internacionales para unificar las definiciones de 169 rasgos radiómicos¹⁰. Este esfuerzo permitió alcanzar una reproducibilidad excelente en

tomografía computarizada, resonancia magnética y medicina nuclear, logrando que los resultados no dependan del programa informático utilizado¹⁰.

En continuidad con estos esfuerzos, recientemente este marco de trabajo se ha extendido al uso de filtros de procesamiento, estableciendo definiciones matemáticas estrictas para herramientas que resaltan detalles finos o bordes de las estructuras¹⁴. Este consenso técnico permite, por primera vez, comparar estudios realizados en cualquier parte del mundo. Sin embargo, la estandarización del *software* es solo un paso inicial, pues la variabilidad física en el momento de realizar el escáner sigue siendo un desafío que requiere soluciones de armonización integrales¹⁴.

Ante la persistencia de esta heterogeneidad, existen métodos estadísticos diseñados para mitigar las diferencias entre hospitales después de la toma del examen. El algoritmo ComBat, adaptado del campo de la genética, permite alinear los datos obtenidos en distintos centros sin alterar la información biológica del paciente³⁴. Su uso en el cáncer de pulmón ha permitido agrupar información de múltiples instituciones para crear modelos de predicción más potentes y seguros²⁴. Esta corrección técnica es fundamental cuando no es posible unificar los equipos de imagen, aunque su éxito depende de la calidad del análisis estadístico aplicado³⁵.

Desde una perspectiva de evaluación global, la calidad científica del campo se analiza mediante el *Radiomics Quality Score* (RQS), un instrumento que valora el rigor de los estudios desde la toma de la imagen hasta su validación en pacientes reales¹¹. Los análisis recientes revelan que la mayoría de la literatura publicada solo alcanza un tercio de la puntuación máxima, lo que señala fallos en la validación externa y en la transparencia de los informes³⁶. La nueva versión de este sistema de evaluación incorpora principios de confianza en la inteligencia artificial, enfocándose en la robustez, la trazabilidad y la equidad de los resultados³⁷.

En coherencia con estas exigencias metodológicas, el cumplimiento de las guías de reporte, como TRIPOD (*Transparent Reporting of a multivariable prediction model for Individual Prognosis Or Diagnosis*) y CLAIM (*CheckList for Artificial Intelligence in Medical imaging*), es esencial para garantizar la transparencia y la posibilidad de replicar los hallazgos en otros entornos médicos³⁸. La integración de estos estándares técnicos con una documentación rigurosa establece las bases de la legitimidad científica necesaria. Solo así será posible transformar la promesa de la radiómica en

evidencia auditable y segura para su aplicación en oncología personalizada³⁹.

Derivado de estas limitaciones, la identificación de vulnerabilidades en la cadena de adquisición y procesamiento de datos pone de manifiesto que la reproducibilidad constituye un requisito indispensable para la validación clínica de la radiómica. A pesar de los avances en estandarización, persisten desafíos que dificultan su implementación uniforme entre instituciones. Tal constatación conduce necesariamente a ampliar el análisis más allá de lo técnico. Por ello, la siguiente sección introduce de manera explícita los factores que condicionan la traslación clínica, incluyendo la interpretabilidad de los modelos, su integración en los sistemas de salud y los marcos de gobernanza necesarios para su adopción segura.

Desafíos de integración y gobernanza en radiómica clínica

La transición de la radiómica desde la investigación hacia la práctica clínica encuentra retos que van más allá de lo puramente técnico. Los obstáculos se sitúan en la interacción del profesional y la tecnología, así como en la estructura de las instituciones de salud. La falta de transparencia de los modelos complejos, conocida frecuentemente como el «problema de la caja negra», es una barrera para la confianza médica. Los profesionales necesitan comprender la lógica de las predicciones que orientan las decisiones terapéuticas vitales⁴⁰. En oncología, la responsabilidad sobre el paciente recae en el equipo médico y no en el sistema informático⁴¹.

Ante esta limitación interpretativa, la inteligencia artificial explicable surge como una respuesta a este desafío al ofrecer herramientas para medir cuánto contribuye cada característica de la imagen al resultado final. Mediante el uso de modelos matemáticos que desglosan la decisión del algoritmo en partes comprensibles, un proceso opaco se transforma en una herramienta de apoyo clínico auditable⁴². En el cáncer de pulmón, se ha demostrado que ciertas medidas de la complejidad de la textura y la forma son predictores fiables de malignidad. Esto facilita que los datos del sistema se integren con el razonamiento médico convencional⁴³.

Desde la necesidad de hacer inteligibles estas decisiones, para que estos modelos puedan ser supervisados, se requieren métodos que funcionen en distintos niveles. Los mapas visuales de importancia permiten identificar las regiones de la imagen que más influyen

en la decisión del sistema. Esta capacidad de inspección es muy valiosa en radiología, pues permite verificar que el algoritmo se enfoca en estructuras con sentido biológico⁴⁴. La coherencia entre las zonas que el sistema analiza y los hallazgos del observador humano constituye un criterio esencial de validez clínica⁴⁰.

Junto a estas exigencias de interpretabilidad, la conexión técnica entre los sistemas de análisis y la infraestructura del hospital es otra dimensión crítica. Los sistemas de archivo y comunicación de imágenes, conocidos como PACS (*Picture Archiving and Communication System*), son la base de la radiología moderna. Cualquier herramienta de inteligencia artificial debe integrarse en estos flujos de trabajo sin causar interrupciones⁴⁵. El uso de estándares de reporte estructurado facilita que los resultados del algoritmo se comuniquen en formatos compatibles con la historia clínica electrónica, permitiendo que las predicciones se incluyan en los informes radiológicos tradicionales²².

En paralelo a esta integración operativa, el uso de plataformas de almacenamiento y procesamiento en la nube ayuda a gestionar la gran carga de datos que requieren los modelos. Esto permite desplazar el trabajo pesado desde las computadoras locales hacia servidores externos con mayor capacidad, lo que facilita el análisis de grandes grupos de pacientes²². Esta estructura permite crear procesos estandarizados y fáciles de replicar, asegurando que otros centros médicos puedan obtener resultados similares⁴⁶. No obstante, el uso de estos servicios plantea debates sobre el control de los datos y los costos que podrían afectar a los centros con menos recursos²².

Como alternativa a estas limitaciones estructurales, el aprendizaje federado es una estrategia para entrenar modelos sin necesidad de mover datos sensibles fuera de los hospitales. Esto resuelve los problemas de privacidad y permite reunir información de muchos centros para mejorar la precisión del sistema⁴⁷. Esta estrategia es muy relevante en oncología, en la que las normas de protección de datos personales son muy estrictas⁴⁸. En el cáncer de pulmón, este método ha permitido crear modelos tan precisos como los tradicionales, pero cumpliendo con todas las exigencias legales de seguridad⁴⁶.

Bajo este escenario de expansión tecnológica, las normas para aprobar estos algoritmos como dispositivos médicos han evolucionado para adaptarse a su naturaleza cambiante. Las guías de las agencias internacionales exigen ahora un seguimiento constante después de que el sistema empieza a usarse, así como

protocolos claros para sus actualizaciones⁴⁹. Este marco legal e institucional busca asegurar que la tecnología transite desde la fase de prueba hacia una herramienta clínica certificada y segura⁵⁰.

Por otro lado, la equidad de los algoritmos es una preocupación creciente, ya que los modelos entrenados con datos de grupos limitados podrían no funcionar igual en otros pacientes⁵¹. Los estándares internacionales actuales exigen que los estudios informen sobre las características demográficas de los pacientes utilizados para crear el modelo. Es necesario evaluar de manera sistemática si el rendimiento del sistema varía entre diferentes subgrupos de población³⁷. Esta exigencia ética es fundamental para que el despliegue de la tecnología sea justo y útil para todos⁵².

En relación con esta dimensión de equidad y uso real, la integración de estos sistemas en el ciclo de atención del paciente requiere conectar la información de la imagen con los datos clínicos y genéticos. La historia clínica electrónica es el lugar natural para esta unión, aunque la falta de uniformidad entre los sistemas de distintos hospitales representa un reto importante⁵³. El uso de estándares modernos de comunicación de datos ayuda a que la información sea estructurada y reutilizable en diferentes plataformas⁵⁴.

Como corolario de esta integración progresiva, la capacitación de los profesionales de la salud en el uso de estas herramientas es el requisito final para su éxito. Los radiólogos y los oncólogos deben contar con las competencias necesarias para evaluar críticamente los resultados del sistema, conocer sus límites y explicar la incertidumbre al paciente⁵⁵. Incluir contenidos sobre inteligencia artificial en la formación médica especializada es clave para un uso responsable de la tecnología. Esto permite que el médico deje de ser un usuario pasivo y se convierta en un agente crítico capaz de supervisar el sistema en su práctica diaria⁴¹.

Conclusiones

La transformación de las imágenes médicas convencionales en conjuntos de datos biológicos cuantificables marca un punto de transición en la oncología torácica. La radiómica impulsada por inteligencia artificial consolida un cambio desde la evaluación visual subjetiva hacia una caracterización fenotípica objetiva de las lesiones. Tal aproximación facilita la captura de la heterogeneidad del microambiente tumoral en el cáncer de pulmón con un nivel de detalle previamente inaccesible. Se genera así un escenario en el que el diagnóstico por la imagen evoluciona para posicionarse como un

instrumento activo e indispensable en la medicina de precisión.

La capacidad de inferir la biología tumoral subyacente sin depender exclusivamente de procedimientos invasivos redefine el alcance de la imagen médica. Las representaciones generadas por algoritmos de aprendizaje profundo permiten establecer correlaciones cuantificables entre patrones anatómicos, alteraciones moleculares y perfiles inmunitarios. Tal articulación entre la información macroscópica de la imagen y los procesos biológicos celulares configura un marco interpretativo más integrado. En consecuencia, la organización espacial de la neoplasia puede entenderse como un portador de información pronóstica y predictiva relevante para la caracterización de la enfermedad.

En el entorno clínico, tales desarrollos se traducen en herramientas de estratificación orientadas a optimizar la toma de decisiones terapéuticas. La posibilidad de anticipar respuestas a la inmunoterapia o de predecir la diseminación microscópica antes de una cirugía ilustra su utilidad directa en el manejo del paciente. Sin embargo, la adopción sistemática de estas herramientas exige que los modelos analíticos sean transparentes para el facultativo. La confianza del médico tratante depende de sistemas explicables que justifiquen sus predicciones y que logren integrarse de manera fluida en los sistemas de información hospitalaria ya existentes.

El progreso de la disciplina requiere superar la fragilidad metodológica asociada a la variabilidad técnica entre los diferentes equipos de adquisición y las instituciones sanitarias. Por tal motivo, las futuras líneas de investigación deben priorizar la validación de estos modelos en cohortes multicéntricas que garanticen una adecuada representación demográfica y promuevan la equidad algorítmica. Asimismo, la implementación de arquitecturas de aprendizaje federado se perfila como una vía de desarrollo esencial. Dicho enfoque permitirá entrenar sistemas predictivos robustos a gran escala mientras se protege estrictamente la privacidad de los datos clínicos.

La integración progresiva del rigor algorítmico con la validación clínica rigurosa tiene el potencial de reestructurar el ecosistema de atención oncológica. La adopción de la inteligencia artificial se proyecta no como un sustituto del juicio clínico, sino como un soporte que amplifica las capacidades del médico mediante biomarcadores digitales auditables. La madurez traslacional de esta tecnología dependerá de su habilidad para mitigar la incertidumbre diagnóstica de

manera consistente. Al lograrlo, se facilitará que los profesionales de la salud enfoquen sus esfuerzos en la atención verdaderamente integral e individualizada del paciente.

Financiamiento

El autor declara no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

El autor declara no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. El autor declara que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. El estudio no involucra datos personales de pacientes ni requiere aprobación ética. No se aplican las guías SAGER.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. El autor declara que utilizó el modelo extenso de lenguaje GPT-5.3 de OpenAI con el propósito de identificar y corregir errores gramaticales y ortográficos. La instrucción aplicada fue: "detecta y corrige todos los errores de redacción y ortografía". Una vez obtenida la respuesta del sistema, se realizó una revisión del texto resultante para asegurar que conservara el tono y la intención del manuscrito original.

Referencias

1. Bray F, Laversanne M, Sung H, Ferlay J, Siegel RL, Soerjomataram I, et al. Global cancer statistics 2022: GLOBOCAN estimates of incidence and mortality worldwide for 36 cancers in 185 countries. *CA Cancer J Clin.* 2024;74:229-63.
2. Zhou J, Xu Y, Liu J, Feng L, Yu J, Chen D. Global burden of lung cancer in 2022 and projections to 2050: incidence and mortality estimates from GLOBOCAN. *Cancer Epidemiol.* 2024;93:102693.
3. Lambin P, Rios-Velazquez E, Leijenaar R, Carvalho S, van Stiphout RGPM, Granton P, et al. Radiomics: extracting more information from medical images using advanced feature analysis. *Eur J Cancer.* 2012;48:441-6.
4. Gillies RJ, Kinahan PE, Hricak H. Radiomics: images are more than pictures, they are data. *Radiology.* 2016;278:563-77.
5. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz LH, Aerts HJWL. Artificial intelligence in radiology. *Nat Rev Cancer.* 2018;18:500-10.
6. Avanzo M, Wei L, Stancanella J, Vallières M, Rao A, Morin O, et al. Machine and deep learning methods for radiomics. *Med Phys.* 2020;47:e185-e202.
7. Aerts HJWL, Velazquez ER, Leijenaar RTH, Parmar C, Grossmann P, Carvalho S, et al. Decoding tumour phenotype by noninvasive imaging using a quantitative radiomics approach. *Nat Commun.* 2014; 5:4006.
8. Wang S, Shi J, Ye Z, Dong D, Yu D, Zhou M, et al. Predicting EGFR mutation status in lung adenocarcinoma on computed tomography image using deep learning. *Eur Respir J.* 2019;53:1800986.

9. Trebeschi S, Drago SG, Birkbak NJ, Kurilova I, Călin AM, Delli Pizzi A, et al. Predicting response to cancer immunotherapy using noninvasive radiomic biomarkers. *Ann Oncol.* 2019;30:998-1004.
10. Zwanenburg A, Vallières M, Abdalah MA, Aerts HJWL, Andrearczyk V, Apte A, et al. The image biomarker standardization initiative: standardized quantitative radiomics for high-throughput image-based phenotyping. *Radiology.* 2020;295:328-38.
11. 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;14:749-62.
12. Van Griethuysen JJM, Fedorov A, Parmar C, Hosny A, Aucoin N, Narayan V, et al. Computational radiomics system to decode the radiographic phenotype. *Cancer Res.* 2017;77:e104-7.
13. Kumar V, Gu Y, Basu S, Berglund A, Eschrich SA, Schabath MB, et al. Radiomics: the process and the challenges. *Magn Reson Imaging.* 2012;30:1234-48.
14. Whybra P, Zwanenburg A, Ayotte A, Andrearczyk V, Schaefer R, Apte AP, et al. The image biomarker standardization initiative: standardized convolutional filters for reproducible radiomics and enhanced clinical insights. *Radiology.* 2024;310:e231319.
15. Tao J, Liang C, Yin K, Fang J, Chen B, Wang Z, et al. 3D convolutional neural network model from contrast-enhanced CT to predict spread through air spaces in non-small cell lung cancer. *Diagn Interv Imaging.* 2022;103:535-44.
16. Chen J, Wee L, Dekker A, Bermejo I. Using 3D deep features from CT scans for cancer prognosis based on a video classification model: a multi-dataset feasibility study. *Med Phys.* 2023;50:4220-33.
17. Rahmim A, Toosi A, Salmanpour MR, Dubljevic N, Janzen I, Shiri I, et al. Tensor radiomics: paradigm for systematic incorporation of multi-flavoured radiomics features. *Quant Imaging Med Surg.* 2023;13:7680-94.
18. Wu W, Parmar C, Grossmann P, Quackenbush J, Lambin P, Bussink J, et al. Exploratory study to identify radiomics classifiers for lung cancer histology. *Front Oncol.* 2016;6:71.
19. Wang J, Dai G, Ren X, Shi R, Luo R, Liu J, et al. Assessing the reproducibility, stability, and biological interpretability of multimodal computed tomography image features for prognosis in advanced non-small cell lung cancer. *iRadiology.* 2024;2:e56.
20. Hatt M, Tixier F, Pierce L, Kinahan PE, Cheze Le Rest C, Visvikis D. Characterization of PET/CT images using texture analysis: the past, the present... any future? *Eur J Nucl Med Mol Imaging.* 2017;44:151-65.
21. Safarian A, Mirshahvalad SA, Nasrollahi H, Jung T, Pirich C, Arabi H, et al. Impact of [¹⁸F]FDG PET/CT radiomics and artificial intelligence in clinical decision making in lung cancer: its current role. *Semin Nucl Med.* 2025;55:156-66.
22. Bontempi D, Nuernberg L, Pai S, Krishnaswamy D, Thiriveedhi V, Hosny A, et al. End-to-end reproducible AI pipelines in radiology using the cloud. *Nat Commun.* 2024;15:6931.
23. Yamamoto S, Korn WA, Oklu R, Migdal C, Gotway MB, Weiss GJ, et al. ALK molecular phenotype in non-small cell lung cancer: CT radiogenomic characterization. *Radiology.* 2014;272:568-76.
24. Saber R, Tonneau M, Salko O, Liberman M, Malo J, Elkrief A, et al. Multi-institutional CT scan-based radiomics for predicting tumor PD-L1 expression in patients with advanced and limited non-small cell lung cancer. *Cancers.* 2026;18:552.
25. Sun R, Limkin EJ, Vakalopoulou M, Derclé L, Champiat S, Han SR, et al. A radiomics approach to assess tumour-infiltrating CD8 cells and response to anti-PD-1 or anti-PD-L1 immunotherapy: an imaging biomarker, retrospective multicohort study. *Lancet Oncol.* 2018;19:1180-91.
26. Hou KY, Chen JR, Wang YC, Chiu MH, Lin SP, Mo YH, et al. Radiomics-based deep learning prediction of overall survival in non-small-cell lung cancer using contrast-enhanced computed tomography. *Cancers.* 2022;14:3798.
27. Parmar C, Grossmann P, Bussink J, Lambin P, Aerts HJWL. Machine learning methods for quantitative radiomic biomarkers. *Sci Rep.* 2015;5:13087.
28. Yakar M, Etiz D, Gulbandilar E, Duruer K, Erden E. Radiomic-assistant response prediction to stereotactic body radiotherapy in early stage lung cancer. *Int J Hematol Oncol.* 2025;35:27-40.
29. Mackin D, Fave X, Zhang L, Fried D, Yang J, Taylor B, et al. Measuring computed tomography scanner variability of radiomics features. *Invest Radiol.* 2015;50:757-65.
30. Traverso A, Wee L, Dekker A, Gillies R. Repeatability and reproducibility of radiomic features: a systematic review. *Int J Radiat Oncol Biol Phys.* 2018;102:1143-58.
31. Liu Y, Wang G, Yan X, Wang H, Li T, Yang S, et al. Effect of reconstruction settings on radiomics feature robustness in positron emission tomography images: a clinical study. *Quant Imaging Med Surg.* 2025;15:9515-33.
32. Pavic M, Bogowicz M, Würms X, Glatz S, Finazzi T, Riesterer O, et al. Influence of inter-observer delineation variability on radiomics stability in different tumor sites. *Acta Oncol.* 2018;57:1070-4.
33. Primakov SP, Ibrahim A, van Timmeren JE, Wu G, Keek SA, Beuque M, et al. Automated detection and segmentation of non-small cell lung cancer computed tomography images. *Nat Commun.* 2022;13:3423.
34. Orhac F, Boughdad S, Philippe C, Stalla-Bourdillon H, Nioche C, Champion L, et al. A postreconstruction harmonization method for multicenter radiomic studies in PET. *J Nucl Med.* 2018;59:1321-8.
35. Da-ano R, Visvikis D, Hatt M. Harmonization strategies for multicenter radiomics investigations. *Phys Med Biol.* 2020;65:24TR02.
36. Spadarella G, Stanzione A, Akinci D'Antonoli T, Andreychenko A, Fanni SC, Ugga L, et al. Systematic review of the radiomics quality score applications: an EuSoMI radiomics auditing group initiative. *Eur Radiol.* 2023;33:1884-94.
37. Lambin P, Woodruff HC, Mali SA, Zhong X, Kuang S, Lavrova E, et al. Radiomics quality score 2.0: towards radiomics readiness levels and clinical translation for personalized medicine. *Nat Rev Clin Oncol.* 2025;22:831-46.
38. Mongan J, Moy L, Kahn CE. Checklist for artificial intelligence in medical imaging (CLAIM): a guide for authors and reviewers. *Radiol Artif Intell.* 2020;2:e200029.
39. Park JE, Kim D, Kim HS, Park SY, Kim JY, Cho SJ, et al. Quality of science and reporting of radiomics in oncologic studies: room for improvement according to radiomics quality score and TRIPOD statement. *Eur Radiol.* 2020;30:523-36.
40. Reyes M, Meier R, Pereira S, Silva CA, Dahlweid FM, von Tengg-Kobligh H, et al. On the interpretability of artificial intelligence in radiology: challenges and opportunities. *Radiol Artif Intell.* 2020;2:e190043.
41. Ghassemi M, Oakden-Rayner L, Beam AL. The false hope of current approaches to explainable artificial intelligence in health care. *Lancet Digit Health.* 2021;3:e745-50.
42. Lundberg SM, Lee SI. A unified approach to interpreting model predictions. *Adv Neural Inf Process Syst.* 2017;30:4765-74.
43. Raptis S, Ilioudis C, Theodorou K. Uncovering the diagnostic power of radiomic feature significance in automated lung cancer detection: an integrative analysis of texture, shape, and intensity contributions. *BioMed Informatics.* 2024;4:2400-25.
44. Selvaraju RR, Cogswell M, Das A, Vedantam R, Parikh D, Batra D. Grad-CAM: visual explanations from deep networks via gradient-based localization. *Int J Comput Vis.* 2020;128:336-59.
45. Kohli M, Prevedello LM, Filice RW, Geis JR. Implementing machine learning in radiology practice and research. *AJR Am J Roentgenol.* 2017;208:754-60.
46. Pati S, Baid U, Edwards B, Sheller M, Wang SH, Reina GA, et al. Federated learning enables big data for rare cancer boundary detection. *Nat Commun.* 2022;13:7346.
47. Rieke N, Hancox J, Li W, Milletari F, Roth HR, Albarqouni S, et al. The future of digital health with federated learning. *NPJ Digit Med.* 2020;3:119.
48. Sheller MJ, Edwards B, Reina GA, Martin J, Pati S, Kotrotsou A, et al. Federated learning in medicine: facilitating multi-institutional collaborations without sharing patient data. *Sci Rep.* 2020;10:12598.
49. Larson DB, Harvey H, Rubin DL, Irani N, Tse JR, Langlotz CP. Regulatory frameworks for development and evaluation of artificial intelligence-based diagnostic imaging algorithms: summary and recommendations. *J Am Coll Radiol.* 2021;18:413-24.
50. Vasey B, Nagendran M, Campbell B, Clifton DA, Collins GS, Denaxas S, et al. Reporting guideline for the early-stage clinical evaluation of decision support systems driven by artificial intelligence: DECIDE-AI. *Nat Med.* 2022;28:924-33.
51. Chen RJ, Chen TY, Lipkova J, Wang JJ, Williamson DFK, Lu MY, et al. Algorithmic fairness in artificial intelligence for medicine and healthcare. *Nat Biomed Eng.* 2023;7:719-42.
52. Lekadir K, Feragen A, Fofanah AJ, Frangi AF, Buyx A, Emelie A, et al. FUTURE-AI: international consensus guideline for trustworthy and deployable artificial intelligence in healthcare. *BMJ.* 2025;388:e081554.
53. Topol EJ. High-performance medicine: the convergence of human and artificial intelligence. *Nat Med.* 2019;25:44-56.
54. Bibault JE, Xing L, Giraud P, Doust R, Maingon Y, Mahe JP, et al. Radiomics: a primer for the radiation oncologist. *Cancer Radiother.* 2020;24:403-10.
55. Pesapane F, Codari M, Sardaneli F. Artificial intelligence in medical imaging: threat or opportunity? Radiologists again on the forefront of innovation in medicine. *Eur Radiol Exp.* 2018;2:35.

Pseudotiroides posoperatoria ecográfica: evitando la sobreinterpretación del lecho quirúrgico

Postoperative pseudothyroid on ultrasound: avoiding misinterpretation of the surgical bed

Luis Canales-Franco^{1,2*} , David Astudillo-Jara^{1,2} , Roberto Rouhana-Monagas³ y David Astudillo-Ortega^{2,4}

¹Unidad de Imagenología, Hospital Regional de Ñuble, Chillán; ²Facultad de Medicina, Universidad Católica de la Santísima Concepción, Concepción; ³Servicios de Medicina y de Hospitalización Domiciliaria; ⁴Servicio de Otorrinolaringología. Hospital Regional de Ñuble, Chillán. Chile

Resumen

La pseudotiroides posoperatoria corresponde a un hallazgo ecográfico transitorio observado en el lecho quirúrgico tras una tiroidectomía. Se caracteriza por la ocupación del lecho operatorio por una mezcla variable de material hemostático, hemorragia organizada, reacción inflamatoria y tejido fibroconectivo en proceso de maduración. Este conjunto puede adquirir una ecogenicidad y una morfología semejantes a las de una glándula tiroidea normal, generando la impresión de una «falsa» glándula. Su reconocimiento es especialmente relevante para radiólogos en formación, dado que podría simular un remanente glandular o una recurrencia tumoral.

Palabras clave: Pseudotiroides. Tiroidectomía. Posoperatorio. Ecografía cervical.

Abstract

Postoperative pseudothyroid is a transient ultrasound finding observed in the surgical bed after thyroidectomy. It is characterized by occupation of the operative bed by a variable mixture of hemostatic material, organized hemorrhage, inflammatory reaction, and fibroconnective tissue undergoing maturation. This combination may acquire echogenicity and morphology similar to those of a normal thyroid gland, creating the impression of a "false" gland. Recognition of this finding is particularly relevant for radiologists in training, as it may mimic residual thyroid tissue or tumor recurrence.

Keywords: Pseudothyroid. Thyroidectomy. Postoperative. Neck ultrasound.

*Correspondencia:

Luis Canales-Franco
E-mail: luiscanalesf@gmail.com

Fecha de recepción: 08-02-2026
Fecha de aceptación: 22-06-2026
DOI: 10.24875/AJI.26000015

Disponible en internet: 02-10-2026
Austral J. Imaging. 2026;32(4):232-236
www.resochradi.com

2810-6954 / © 2026 Sociedad Chilena de Radiología. Publicado por Permayer. Éste es un artículo open access bajo la licencia CC BY-NC-ND (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

Introducción

La ecografía cervical es la herramienta principal en el seguimiento posoperatorio de pacientes sometidos a tiroidectomía, en particular en el control del cáncer de tiroides. Sin embargo, su precisión diagnóstica depende en gran medida de la experiencia del operador y de su conocimiento detallado de la anatomía cervical, los compartimentos ganglionares, los diagnósticos diferenciales relevantes y los cambios posquirúrgicos normales, sus variaciones y sus posibles imitadores de enfermedad residual o recurrente^{1,2}.

El lecho tiroideo posoperatorio puede presentar múltiples hallazgos benignos que generan incertidumbre diagnóstica, entre ellos tejido cicatricial, granulomas de sutura, material hemostático residual y fenómenos inflamatorios transitorios². En este contexto, proponemos el término «pseudotiroides posoperatoria» para referirnos a un patrón ecográfico transitorio caracterizado por una apariencia pseudoglandular del contenido del espacio quirúrgico, secundaria a la reorganización de material hemostático, hemorragia organizada, reacción inflamatoria y tejido fibroconectivo tras la resección tiroidea^{3,4}.

Este hallazgo ecográfico ha sido identificado de manera consistente en pacientes controlados en el Hospital Regional de Ñuble, con características ecográficas reproducibles y resolución documentada en el seguimiento. Hasta donde conocemos, este patrón no ha sido formalmente descrito en la literatura como una condición semiológica específica, pese a su relevancia en el seguimiento ecográfico.

Serie de casos

Se realizó seguimiento imagenológico en nueve pacientes tiroidectomizados que presentaron imágenes compatibles con pseudotiroides en una ecografía de seguimiento tras la tiroidectomía (total o parcial), como control de cáncer de tiroides, durante los años 2022 y 2025, con el objetivo de caracterizar su comportamiento y evolución en el tiempo. Todos los cánceres correspondieron a tumores pequeños (10-17 mm), variante papilar, y fueron sometidos a tiroidectomía utilizando Surgicel™ (celulosa oxidada regenerada) como material hemostático para el lecho (dos láminas de aproximadamente 1 × 3 cm). El hallazgo presenta una ventana de aparición relativamente acotada y una resolución espontánea sistemática en el seguimiento, como se muestra en la [tabla 1](#).

Los estudios ecográficos se realizaron todos utilizando transductores lineales de alta frecuencia,

incorporando de manera sistemática Doppler color y Doppler *power* en la evaluación del lecho tiroideo y de los compartimentos ganglionares cervicales.

Durante la reorganización posoperatoria del lecho quirúrgico, los hallazgos evolucionan hacia un patrón ecográfico uniforme, configurando una apariencia pseudoglandular bien definida¹ ([Figs. 1 A a D](#)). Tras los cambios inducidos por la cirugía, el contenido del lecho quirúrgico puede manifestarse ecográficamente como un área isoecogénica o discretamente hiperecogénica, de morfología triangular invertida o aplanada, que ocupa el espacio virtual correspondiente a la glándula tiroidea^{1,2} ([Fig. 2A](#)), y que puede mostrar además un halo hipoecogénico periférico ([Fig. 2 E y F](#)) y ausencia de señal Doppler.

La serie muestra un patrón temporal relativamente predecible, con aparición de la pseudotiroides ecográfica en un intervalo temprano del seguimiento posoperatorio, comprendido entre el segundo y el cuarto meses tras la tiroidectomía ([Figs. 1 B a D, 2 A a C, 3 C y E](#)). Este periodo coincide con la fase de reorganización inflamatoria y cicatricial del lecho quirúrgico, etapa en la que el riesgo de confusión con remanente glandular o recurrencia tumoral es mayor^{1,2}.

En fases más precoces del posoperatorio, es decir, dentro de los primeros 2 meses en nuestra serie y previo a la reorganización del lecho quirúrgico, este puede mostrar una ocupación heterogénea, con áreas quísticas y trabeculaciones internas, compatible con colecciones serohemáticas y con un proceso inflamatorio agudo en contexto posquirúrgico^{1,2} ([Fig. 3D](#)).

El seguimiento ecográfico se realizó mayoritariamente entre el sexto y el noveno meses posoperatorios; en los casos 5 y 9 ([Tabla 1](#)), ante la ausencia de control en dicho intervalo, se efectuó una ecografía posterior con fines exclusivamente evolutivos, sin impacto en el análisis temporal principal.

La resolución espontánea documentada en todos los pacientes, en general después del sexto mes posoperatorio, respalda el carácter benigno y transitorio de este hallazgo ([Figs. 1 F, 2 D y 3 F](#)). La ausencia de progresión ecográfica y la involución sistemática observada refuerzan el valor del seguimiento ecográfico seriado como estrategia adecuada para confirmar su naturaleza no tumoral y evitar procedimientos diagnósticos invasivos innecesarios.

Discusión

La pseudotiroides posoperatoria corresponde a un hallazgo ecográfico transitorio observado en el lecho

Tabla 1. Evolución ecográfica temporal de la pseudotiroides posoperatoria

Casos	Sexo	Edad (años)	Detección ecográfica de la pseudotiroides (días posoperatorio)	Resolución ecográfica demostrada (días posoperatorio)
1	F	46	62	349
2	F	35	44	219
3	F	43	53	191
4	F	43	113	233
5	F	44	59	621
6	M	27	98	390
7	F	31	69	282
8	F	46	90	189
9	F	39	137	546

F: femenino; M: masculino.

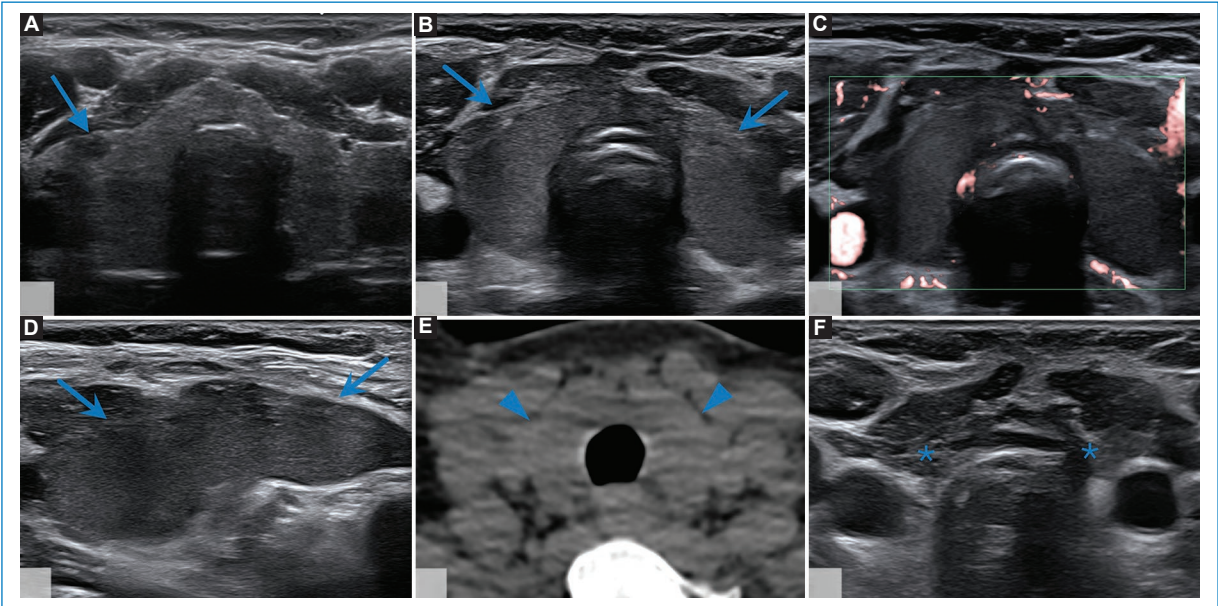


Figura 1. Patrón clásico. Caso 1: mujer de 46 años con carcinoma papilar de tiroides. **A:** ecografía preoperatoria que muestra un nódulo tiroideo derecho (flecha). **B:** ecografía transversal del lecho quirúrgico a los 62 días posoperatorios, con pseudotiroides homogénea de ecogenicidad similar a la del parénquima tiroideo (flechas). **C:** ausencia de señal Doppler color y Doppler *power* en el área pseudoglandular. **D:** plano longitudinal que confirma la morfología pseudolobular del hallazgo (flechas). **E:** tomografía computarizada de cuello sin contraste en el plano axial que muestra una ocupación homogénea del lecho quirúrgico, sin la normal hiperdensidad glandular. **F:** ecografía de seguimiento con resolución completa de la pseudotiroides (asteriscos).

quirúrgico tras una tiroidectomía. La ecogenicidad y la morfología de la pseudotiroides pueden asemejarse notablemente al parénquima tiroideo normal, lo que explica su potencial para inducir una sobreinterpretación diagnóstica en el seguimiento ecográfico, en especial si se trata de radiólogos en formación.

Es importante conocer la evolución ecográfica en el tiempo de los cambios posquirúrgicos de la tiroidectomía al afrontar un examen en los primeros meses posteriores a la cirugía^{1,2,5}. Aunque las recomendaciones internacionales sugieren la primera revisión ecográfica entre los 6 y 12 meses posterior a la tiroidectomía, en

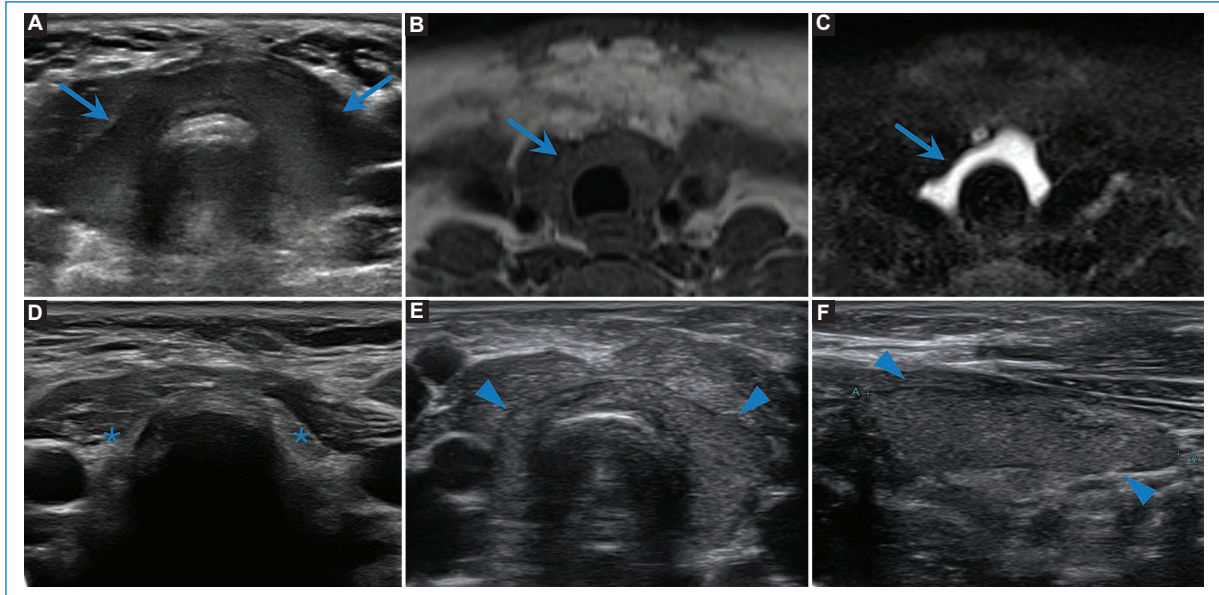


Figura 2. Fase precoz y correlato multimodal. Caso 2: mujer de 35 años sometida a tiroidectomía total por carcinoma papilar. **A:** ecografía posoperatoria (día 44) que muestra una ocupación líquida homogénea del lecho quirúrgico, que configura una pseudotiroides (flechas). **B y C:** resonancia magnética axial en T1 y T2 STIR (día 80) que confirma contenido líquido. **D:** ecografía de seguimiento (día 219) con resolución del hallazgo (asteriscos). Caso 3: mujer de 43 años, ecografía transversal y longitudinal (**E y F**) que muestra pseudotiroides organizada con ecogenicidad homogénea y fino halo hipoecogénico periférico (puntas de flecha).

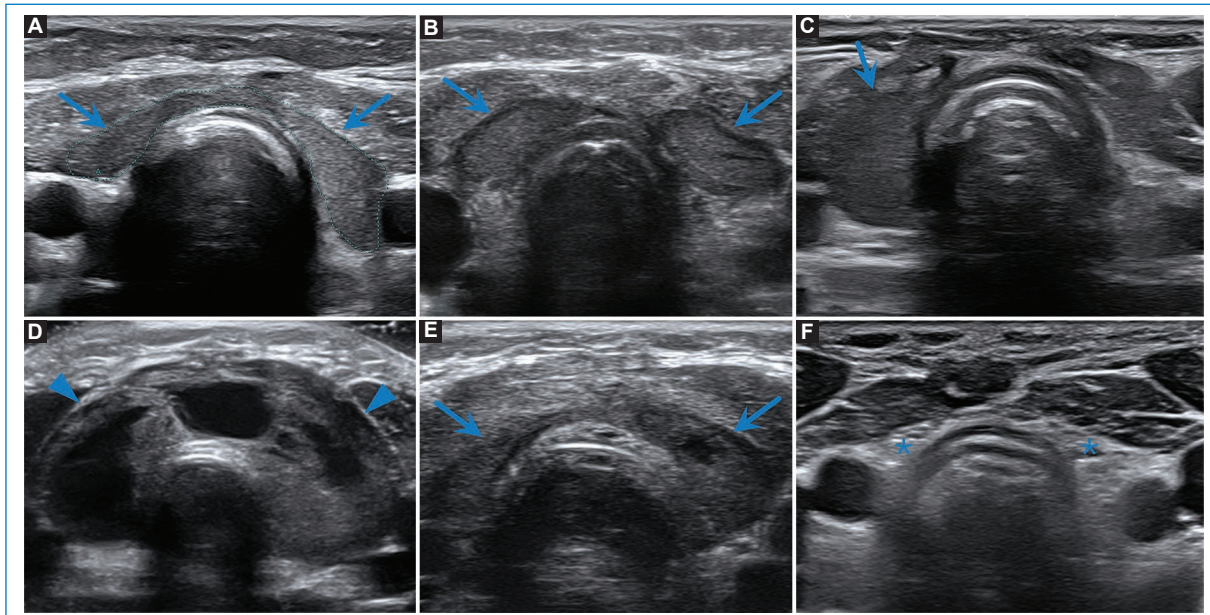


Figura 3. Espectro morfológico y evolutivo. **A:** caso 4, mujer de 43 años, pseudotiroides asimétrica detectada al día 111 posoperatorio. **B:** caso 5, mujer de 44 años, pseudotiroides bilateral discontinua, con menor conformación ístmica y halo hipoecogénico periférico. **C:** caso 6, varón de 27 años, tiroidectomía en dos tiempos; la ecografía al día 98 tras la lobectomía derecha muestra pseudotiroides unilateral. **D, E y F:** caso 7, mujer de 31 años; ecografía precoz (día 16) con ocupación heterogénea de aspecto sólido-quística del lecho (puntas de flecha), evolución a pseudotiroides organizada (flechas) al día 69 y resolución completa del hallazgo en el seguimiento (asteriscos).

nuestra práctica clínica identificamos un número de pacientes sometidos a controles ecográficos precoces. Esta situación permitió reconocer un hallazgo posoperatorio transitorio y poco conocido, cuya apariencia podría inducir interpretaciones erróneas. Esto además motivó la revisión de nuestros protocolos asistenciales, adecuándolos a los intervalos de seguimiento propuestos por las guías internacionales⁶.

Los elementos semiológicos que orientan hacia el diagnóstico de pseudotiroides posoperatoria incluyen:

- Ecogenicidad global similar a la del parénquima tiroideo, sin arquitectura interna organizada.
- Presencia de un halo hipoecogénico fino (Figs. 2 E,F y 3 B), compatible con una pseudocápsula en el margen del lecho quirúrgico.
- Ausencia de señal Doppler color o Doppler *power*, tanto periférica como central (Fig. 1C).
- Configuración estable en relación con las estructuras vecinas, sin efecto de masa significativo.
- Involución temporal progresiva, con disminución del volumen en controles sucesivos.
- Resolución espontánea del hallazgo alrededor del sexto mes del posoperatorio.

En todos los casos incluidos en esta serie, la presencia de estos criterios y la evolución temporal permitieron descartar recurrencia tumoral o remanente glandular, evitando procedimientos diagnósticos invasivos innecesarios. Entre estos criterios, la ausencia de señal Doppler y la disminución progresiva del volumen en controles sucesivos constituyen los elementos más útiles.

Conclusiones

La pseudotiroides posoperatoria es un patrón ecográfico benigno, transitorio y potencialmente frecuente en el lecho tiroideo tras una tiroidectomía, que puede simular tejido remanente o recurrencia tumoral. El reconocimiento de sus características ecográficas distintas, junto con la comprensión de su evolución temporal, permiten reducir la sobreinterpretación diagnóstica, evitar estudios adicionales innecesarios y optimizar el seguimiento posoperatorio.

Es relevante destacar que el riesgo de error diagnóstico es mayor en los controles ecográficos precoces, cuando el seguimiento coincide con el periodo de mayor frecuencia de detección de este patrón ecográfico, entre el segundo y el cuarto meses de posoperatorio, etapa en la que su apariencia pseudoglandular

puede generar mayor confusión diagnóstica. La descripción estructurada de este fenómeno resulta particularmente útil para la docencia en radiología, en especial para radiólogos en formación, y favorece una vigilancia posquirúrgica más precisa y segura.

Futuros estudios longitudinales con un mayor número de casos permitirán definir con mayor precisión la evolución temporal de este hallazgo y confirmar su reproducibilidad.

Financiamiento

Los autores declaran no haber recibido financiamiento para este estudio.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener conflicto de intereses.

Consideraciones éticas

Protección de personas y animales. Los autores declaran que para esta investigación no se han realizado experimentos en seres humanos ni en animales.

Confidencialidad, consentimiento informado y aprobación ética. Los autores han obtenido la aprobación del Comité de Ética para el análisis de datos clínicos obtenidos de forma rutinaria y anonimizados. Debido a la naturaleza del estudio, no fue necesario el consentimiento informado individual. Se han seguido las recomendaciones éticas pertinentes.

Declaración sobre el uso de inteligencia artificial. Los autores declaran que se utilizó ChatGPT como apoyo editorial, como revisión gramatical, verificación de coherencia formal y recuento de palabras, sin generación de contenido científico original.

Referencias

1. Ko MS, Lee JH, Shong YK, Gong GY, Baek JH. Normal and abnormal sonographic findings at the thyroidectomy sites in postoperative patients with thyroid malignancy. *AJR Am J Roentgenol*. 2010;194:1596-609.
2. Simeone JF, Daniels GH, Hall DA, McCarthy K, Kopans DB, Butch RJ, et al. Sonography in the follow-up of 100 patients with thyroid carcinoma. *AJR Am J Roentgenol*. 1987;148:45-9.
3. Dolcetti V, Lori E, Fresilli D, Del Gaudio G, Di Bella C, Pacini P, et al. US evaluation of topical hemostatic agents in post-thyroidectomy. *Cancers (Basel)*. 2023;15:2644.
4. Shahin MN, Gupta A. Hemostatic agent mimicking residual thyroid tissue in a patient status post completion thyroidectomy for thyroid cancer. *Endocr Pract*. 2018;24:500.
5. Kim E, Park JH, Jung JH. Ultrasonographic surveillance following thyroidectomy for differentiated thyroid cancer. *J Endocr Surg*. 2025;25:47-57.
6. Ringel MD, Sosa JA, Baloch Z, Bischoff L, Bloom G, Brent GA, et al. 2025 American Thyroid Association management guidelines for adult patients with differentiated thyroid cancer. *Thyroid*. 2025;35:841-985.