

Artículo de revisión

Parámetros de resonancia magnética cardíaca asociados a miocarditis por inmunoterapia en pacientes oncológicos: una revisión de alcance

 Edgar Quispe-Silvestre^{1,a}, Karen Valeria Gamonal-Moran^{2,b}, Laura Cristina Dragonetti^{3,c}, Nicolás Almeida Arostegui^{4,d}

Recibido: 10 de diciembre de 2025.
Aceptado: 26 de febrero de 2026.
En línea: 06 de marzo de 2026.

Filiación de los autores

¹ Universidad Federico Villarreal - Instituto Peruano de Oncología y Radioterapia, Lima, Perú.

² Universidad Ricardo Palma - Clínica Good Hope, Lima, Perú.

³ Hospital Alemán, Buenos Aires, Argentina.

⁴ Hospital Universitario Nuestra Señora del Rosario, Madrid, España.

^a Médico cardiólogo especialista en Cardio-oncología e Imágenes cardiovasculares.

^b Médico.

^c Médico especialista en Clínica Médica y Diagnóstico por Imágenes, subespecializado en imágenes cardiovasculares CT y MR.

^d Radiólogo cardiotorácico.

Correspondencia

Edgar Quispe Silvestre
Instituto Peruano de Oncología y Radioterapia, Lima, Perú.

Correo

quispesilvestre.edgar@gmail.com

Fuente de financiamiento

Autofinanciado.

Conflictos de interés

Ninguno.

Citar como

Quispe-Silvestre E, Gamonal-Moran KV, Dragonetti LC, Almeida Arostegui N. Parámetros de Resonancia Magnética Cardíaca asociados a miocarditis por inmunoterapia en pacientes oncológicos: una revisión de alcance. Arch Peru Cardiol Cir Cardiovasc. 2026;7(1):35-45. doi: 10.47487/apcyccv.v7i1.586.



Esta obra tiene una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

RESUMEN

Esta revisión de alcance, basada en la metodología PRISMA-ScR, mapea la evidencia científica disponible sobre parámetros alterados en la resonancia magnética cardíaca (RMC) asociados con miocarditis inducida por inhibidores del punto de control inmunitario (ICI-M). Se analizaron veinte estudios publicados entre 2019 y 2025, destacando alteraciones en la función ventricular izquierda (FEVI), edema miocárdico detectado por secuencias ponderadas en T2 y fibrosis identificada como realce tardío de gadolinio (RTG). Los principales criterios diagnósticos incluyeron parámetros como volumen extracelular (VEC) elevado, strain longitudinal global (SLG) alterado y tiempos de relajación T1/T2 anormales. Del total de estudios revisados, la mayoría fueron retrospectivos, seguidos por informes de casos y estudios prospectivos. Las terapias más frecuentemente asociadas con ICI-M involucraron combinaciones de agentes anti-PD1 y anti-CTLA4. La RMC ha demostrado ser una herramienta altamente sensible y no invasiva para detectar la afectación miocárdica, incluso en ausencia de alteraciones significativas en biomarcadores en algunos casos reportados. Se destaca la importancia de utilizar herramientas avanzadas como la RMC para evaluar las complicaciones cardiovasculares asociadas con la miocarditis. Parámetros como la FEVI, el SLG, el RTG y el VEC proporcionan información valiosa sobre la función ventricular y las alteraciones estructurales relacionadas con la miocarditis. Estos hallazgos nos permiten identificar lagunas en el conocimiento y orientar la investigación futura sobre el uso de la RMC en la miocarditis.

Palabras clave: Cardiooncología; Biomarcadores; Inmunoterapia Activa; Diagnóstico por Imagen (Fuente: DeCS-BIREME).

ABSTRACT

Cardiac magnetic resonance parameters associated with myocarditis in patients treated with immunotherapy: a scoping review

This scoping review, conducted in accordance with the PRISMA-ScR methodology, maps the available scientific evidence on cardiac magnetic resonance (CMR) abnormalities associated with immune checkpoint inhibitor-induced myocarditis (ICI-M). Twenty studies published between 2019 and 2025 were analysed, highlighting alterations in left ventricular function (left ventricular ejection fraction [LVEF]), myocardial oedema detected by T2-weighted sequences, and fibrosis identified as late gadolinium enhancement (LGE). Key diagnostic criteria included elevated extracellular volume (ECV), impaired global longitudinal strain (GLS), and abnormal T1 and T2 relaxation times. Of the included studies, most were retrospective, followed by case reports and prospective studies. The therapies most frequently associated with ICI-M involved combinations of anti-PD1 and anti-CTLA4 agents. Cardiac magnetic resonance (CMR) has proven to be a highly sensitive, non-invasive tool for detecting myocardial involvement, even before the elevation of biomarkers such as troponins. The importance of using advanced tools like CMR to assess cardiovascular complications associated with myocarditis is highlighted. Parameters such as LVEF, GLS, LGE, and ECV provide valuable information on ventricular function and structural alterations related to myocarditis. These findings allow us to identify knowledge gaps and guide future research on the use of CMR in myocarditis.

Keywords: Cardio-Oncology; Biomarkers; Immunotherapy; Diagnostic Imaging (Source: MeSH-NLM).

Introducción

La miocarditis asociada con inmunoterapia, particularmente con inhibidores de puntos de control inmunitario (ICI), representa un evento adverso grave con una incidencia reportada del 0,06 al 2,4% según estudios multicéntricos ⁽¹⁾. A medida que el número de pacientes que reciben terapias con ICI aumenta cada año, también lo hace el riesgo de complicaciones graves. La mayoría de los pacientes tratados con ICI presentan algún grado de toxicidad inmunorrelacionada, que puede afectar prácticamente cualquier órgano. En terapias combinadas de PD-1/CTLA-4, los eventos adversos ocurren en casi todos los pacientes y las toxicidades graves (grado ≥ 3) se presentan en aproximadamente un 40–50%, mientras que con monoterapia anti-PD-1 las toxicidades severas afectan alrededor de un 20% y los eventos leves o moderados ocurren en el 60–70% de los casos ⁽²⁾. La fisiopatología subyacente implica una pérdida de la tolerancia inmunológica, donde las células T activadas por los ICI atacan no solo a las células tumorales, sino también a tejidos sanos como el miocardio. Se caracteriza por una infiltración miocárdica predominantemente linfocítica, con participación de células T CD8+, CD4+ y macrófagos PD-L1+. Este infiltrado puede desencadenar arritmias, insuficiencia cardíaca y muerte súbita ⁽³⁾. Esto subraya la importancia de un diagnóstico temprano y un manejo adecuado.

La presentación clínica es altamente variable, desde formas asintomáticas detectadas por alteraciones en electrocardiogramas hasta cuadros graves con dolor torácico, disnea o insuficiencia cardíaca aguda. También puede manifestarse mediante arritmias, síncope o incluso muerte súbita. El diagnóstico se basa en la sospecha clínica apoyada por pruebas como electrocardiograma, análisis de biomarcadores (troponina, NT-proBNP) y ecocardiografía, aunque la biopsia endomiocárdica sigue siendo el estándar para confirmar inflamación y necrosis no isquémica ⁽⁴⁾.

En este contexto, la resonancia magnética cardíaca (RMC) ha emergido como una herramienta diagnóstica no invasiva clave. La RMC permite evaluar de manera integral la estructura y función cardíaca, así como realizar una adecuada caracterización tisular, detectando áreas de inflamación y fibrosis miocárdica ^(2,5). Para ello, se utilizan varias secuencias y parámetros específicos, entre ellos el edema miocárdico (T2); la presencia de edema, indicada por un aumento de la intensidad de señal en secuencias potenciadas en T2 como la STIR y mapas T2, sugiere inflamación y es un marcador temprano de miocarditis. Además, el realce tardío de gadolinio (RTG) permite identificar áreas de fibrosis de reemplazo o necrosis miocárdica, que aparecen como zonas de aumento de intensidad de señal miocárdica en estas secuencias ⁽⁶⁾. El patrón de realce puede ayudar a diferenciar la miocarditis de otras cardiopatías. Otro parámetro es el volumen extracelular (VEC) que cuantifica la expansión del espacio extracelular, el cual puede estar aumentado en casos de inflamación o fibrosis. Este parámetro es particularmente útil para evaluar cambios sutiles en la matriz extracelular ⁽⁶⁾.

Además de su utilidad diagnóstica, la RMC también cumple una función crucial en el seguimiento de los pacientes, permitiendo monitorizar la respuesta al tratamiento y la evolución de la enfermedad. A pesar de sus ventajas, la RMC presenta

algunas limitaciones, como la baja disponibilidad en algunos centros médicos, el tiempo de adquisición y el costo elevado, la claustrofobia, además de la necesidad de personal especializado para su adquisición e interpretación. Igualmente, en pacientes con dispositivos cardíacos implantados o contraindicaciones para el uso de gadolinio, su aplicación puede verse restringida ⁽⁷⁾.

Eichhorn *et al.* ⁽²⁾ mencionan que la miocarditis se evalúa mediante RMC e incluye dimensiones y función de las cámaras cardíacas, imágenes ponderadas en T2, realce tardío de gadolinio, mapeo de T1 y T2 y cálculo de la fracción del volumen extracelular. Técnicas modernas como el feature-tracking de RMC, el análisis de textura y la inteligencia artificial están surgiendo para mejorar el diagnóstico y el pronóstico. Esta revisión destaca el valor de la RMC en la toma de decisiones clínicas, el monitoreo y la estratificación del riesgo en las distintas etapas de esta condición.

Por su parte, Arcari *et al.* ⁽⁸⁾ examinaron el uso de la RMC en la miocarditis inducida por ICI. El análisis reveló que la RMC mostró una fracción de eyección del ventrículo izquierdo conservada, con prevalencia de edema que osciló entre el 9% y el 60% y el realce tardío de gadolinio (RTG) entre el 23% y el 83%. Las evaluaciones de mapeo T1 y T2, realizadas en 108 y 104 pacientes, respectivamente, mostraron concordancia parcial con la biopsia endomiocárdica, siendo el mapeo T1 nativo el biomarcador de imagen con mayor concordancia. Los hallazgos de la RMC en la ICI-M incluyeron disfunción miocárdica, edema y fibrosis, aunque menos evidentes que en las formas más clásicas de miocarditis, y el mapeo T1 nativo mostró un valor pronóstico significativo.

Se optó por una revisión de alcance dado que la evidencia sobre RMC en miocarditis inducida por ICI es emergente, heterogénea y con diferentes tipos de diseño. Este tipo de revisión permite mapear los tipos de estudios, los parámetros de imagen utilizados y las lagunas de conocimiento, sin limitarse a la calidad metodológica de los trabajos incluidos. De esta manera, se planteó como objetivo mapear la evidencia científica disponible sobre los parámetros frecuentemente alterados o registrados en estudios de RMC en pacientes tratados con inmunoterapia.

Metodología

Esta revisión se desarrolló conforme a la guía PRISMA-ScR, acrónimo de Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses extension for Scoping Reviews, que proporciona un marco estructurado para describir la literatura existente sobre un tema en revisión (**Figura 1**). Este diseño se utilizó debido a la heterogeneidad de los estudios y a la naturaleza exploratoria. Dos revisores independientes realizaron la selección y evaluación inicial de los estudios, y se utilizó la plataforma Rayyan para el proceso de cribado y resolución de discrepancias.

Criterios de elegibilidad y fuentes de información

Los criterios de elegibilidad para este estudio se establecieron siguiendo los componentes PCC (población, concepto, contexto), asegurando una selección relevante de las

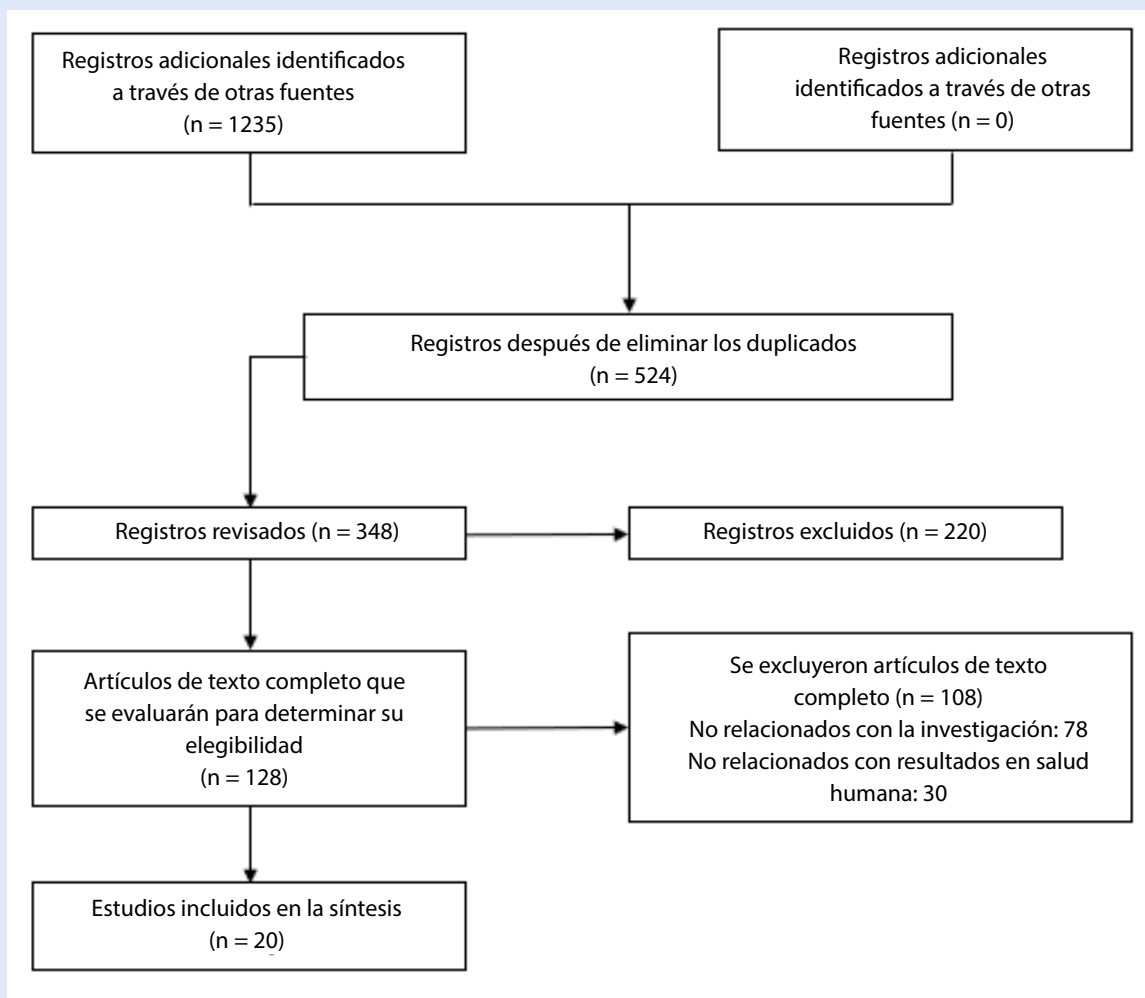


Figura 1. Flujograma de selección de participantes del estudio.

investigaciones. Se consideró como población a los pacientes oncológicos adultos que recibieron tratamiento con inmunoterapia con sospecha de y/o diagnóstico confirmado de miocarditis asociada al tratamiento. El concepto incluyó parámetros de la RMC utilizados para la evaluación o diagnóstico de miocarditis asociada a la inmunoterapia. Finalmente, el contexto consideró estudios realizados en cualquier entorno clínico en el que se evaluó el uso de RMC para la cardiotoxicidad asociada a la inmunoterapia.

Como criterios de inclusión se consideraron a pacientes adultos con diagnóstico de miocarditis mediante RMC, quienes recibieron inmunoterapia para cualquier tipo de cáncer. Además, se seleccionaron investigaciones observacionales, reportes de casos o ensayos clínicos publicados entre 2019 y 2025, redactados en español o inglés. Como criterios de exclusión, se consideraron a pacientes menores de 18 años, estudios experimentales con modelos animales, casos de miocarditis diagnosticados sin el uso de RMC o causados por quimioterapia.

La búsqueda de artículos se realizó en tres bases de datos especializadas: Scopus, PubMed y SciELO. Estas fueron seleccionadas por su relevancia en publicaciones biomédicas en oncología, cardiología e imagenología, y son fuentes confiables y de alto impacto. PubMed constituye la principal fuente de evidencia en ciencias de la salud, Scopus ofrece una cobertura multidisciplinaria internacional y SciELO permite incluir literatura regional latinoamericana.

Estrategia de búsqueda y procesos de selección

Se diseñó una estrategia de búsqueda empleando términos MeSH y palabras clave, incluyendo: miocarditis, diagnóstico por imagen, RMC, inmunoterapia, realce tardío de contraste, biomarcadores de daño miocárdico e inhibidores de puntos de control inmunológicos. En la fase de identificación, se eliminaron duplicados y estudios que no cumplían los criterios de inclusión, reduciendo de 1235 artículos iniciales a 348, seleccionados por títulos y resúmenes. Posteriormente, en la etapa de cribado, se evaluaron los objetivos, diseño del estudio, resúmenes, tipo de técnica de imagen,

inmunoterapia aplicada, foco específico en miocarditis por ICI y los parámetros alterados reportados. Este análisis permitió descartar estudios no pertinentes, revisiones y publicaciones con datos insuficientes. Finalmente, tras aplicar los criterios de elegibilidad y depurar los duplicados, se seleccionaron 20 artículos que cumplieron con los requisitos establecidos para esta revisión. No se realizó una evaluación formal de la calidad metodológica, ya que el propósito del estudio fue mapear la evidencia disponible más que valorar su validez interna.

Resultados

Tendencias de publicación y distribución geográfica

Todos los artículos incluidos en esta revisión trataron sobre la miocarditis asociada a ICI (ICI-M), mientras que tres estudios fueron sobre miocarditis linfocítica inducida por ICI. Los inhibidores de puntos de control inmunitario (ICI) evaluados incluyeron: anti-PD1, anti-PD-L1 y anti-CTLA4, principalmente en combinaciones de anti-PD1 (nivolumab, pembrolizumab) y anti-CTLA4 (ipilimumab). De los 20 estudios, el 60% fueron retrospectivos, el 35% reporte de casos y apenas 1 estudio (5%) fue un estudio prospectivo.

Los resultados de la búsqueda reflejaron una distribución variada: 25% en 2024; 20% en 2020 y 2021; 10% en 2019, 2022 y 2025; y solo un 5% en 2023. En cuanto a los artículos encontrados, la mayoría provinieron de países como Alemania (20%), Estados Unidos y Francia (15% cada uno) y China (10%). Mientras tanto, otras naciones como Japón, Irlanda, España, Italia, Reino Unido, Brasil, Australia y Finlandia contribuyeron apenas con un 5% cada una, lo que equivale a un solo artículo por país. (Tabla 1) ⁽⁹⁻²⁸⁾.

Tipos de parámetros investigados

De los 20 artículos revisados, nueve reportaron resultados normales de fracción de eyección del ventrículo izquierdo (FEVI > 50%) en todos los pacientes evaluados ^(12-14,16-18,22,23,28). Un estudio observó una leve mejoría de la FEVI en comparación con las mediciones basales, pasando de valores cercanos al límite inferior de la normalidad a un rango de 51% a 55% ⁽¹⁵⁾. Dos estudios registraron una leve disminución de la FEVI con respecto a sus valores iniciales, pero aun por encima del 50% ^(10,26); además, tres investigaciones reportaron insuficiencia cardíaca, definida por una FEVI inferior a 50% ^(20,21,24). Finalmente, en tres artículos no se evaluaron o no se identificaron alteraciones ^(9,11,25).

Aunque no se proporcionan datos cuantitativos en varios estudios, la disminución de la FEVI en algunos grupos sugiere alteraciones en la contractilidad miocárdica. Esto indica que la función ventricular está afectada en ciertos pacientes, lo que podría estar relacionado con diversas patologías cardíacas. La FEVI sigue siendo un indicador importante para evaluar la función ventricular y clasificar la insuficiencia cardíaca. Sin embargo, la variabilidad en la evaluación y reporte de la FEVI puede afectar la comparabilidad entre estudios.

El siguiente parámetro, SLG, no fue evaluado en 15 de los estudios incluidos. Sin embargo, los siguientes estudios proporcionaron datos relevantes sobre este parámetro: Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ reportaron un valor inicial de SLG de $-23,4\% \pm 4,8$ antes de la intervención, que disminuyó a $-19,6\% \pm 5,1$ después de la misma. La diferencia fue estadísticamente significativa, con un valor de $p=0,005$. De igual manera, Hichem *et al.* ⁽¹⁹⁾ registraron valores normales ($-19,9\%$) y posteriormente alteración con apical sparing ($-9,8\%$). Esto sugiere una disminución en la función miocárdica después de la intervención, es decir, esta disminución en el SLG sugiere un impacto negativo en la función miocárdica después de la intervención.

La falta de evaluación del SLG en la mayoría de los estudios sugiere que este parámetro no es ampliamente utilizado o reportado en la literatura revisada. Esto podría estar relacionado con la dificultad para medirlo, la ausencia de estándares definidos para interpretarlo, o incluso con el hecho de que, en numerosas ocasiones, se requiere un software especializado para su análisis, lo que incrementa considerablemente los costos. Sin embargo, los estudios que lo evaluaron podrían ofrecer información valiosa sobre la función miocárdica subyacente.

Por su parte, Higgins *et al.* ⁽¹⁷⁾ evidenciaron que los pacientes con un SLG anormal presentaban un valor promedio de $-9,8\% \pm 4,2$, mientras que aquellos con FEVI normal mostraron un SLG de $-12,3\% \pm 2,4$. Este hallazgo sugiere que pueden existir alteraciones subclínicas de la función miocárdica detectables por SLG, incluso cuando la FEVI se encuentra dentro de rangos normales.

Además, se observó una correlación negativa significativa entre el SLG y la FEVI ($rs=-0,64$, $p<0,002$), lo que indica que la disfunción miocárdica detectada por SLG puede preceder a la disminución en la FEVI, lo que es importante para el diagnóstico temprano de cardiotoxicidad. Li *et al.* ⁽²⁶⁾ evaluaron el SLG en diferentes capas del miocardio. Para el subendocárdico (SLGendo), los valores fueron de $-14,61 \pm 2,67$ para el grupo ICI-M refractario a corticosteroides (CR) y $-18,50 \pm 2,53$ para el grupo ICI-M sensible a corticosteroides (CS). Para el subepicárdico (SLGepi), los valores fueron de $-14,75 \pm 2,53$ para el grupo ICI-M CR y $-16,68 \pm 2,05$ para el grupo ICI-M CS. En comparación con el grupo control, que tenía un SLGepi de $-19,31 \pm 1,80$, el grupo CS mostró un deterioro en este parámetro. Los resultados sugieren diferencias en la función miocárdica entre las capas subendocárdica y subepicárdica, con un deterioro en el grupo CS en comparación con los controles.

Sobre la alteración de la contractilidad, varios estudios no reportaron alteraciones como tales, sino como resultado de los valores anteriormente registrados. Es decir, no se especifican datos cuantitativos, pero se infiere una alteración en el grupo CR debido a la disminución de la FEVI.

Tipos de alteraciones estructurales y edemas investigados

De los artículos incluidos, doce no reportaron la presencia de derrame pericárdico. Sin embargo, Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ observaron un

Tabla 1. Lista de artículos

N.º	Autor, Año	Año	País	Objetivo
1	Wang <i>et al.</i> ⁽⁹⁾	2024	Alemania	Generar conocimiento sobre la patogénesis y evaluar los resultados en centros oncológicos con manejo intensificado de pacientes con miocarditis inducida por ICI.
2	Faron <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾	2021	Alemania	Explorar los efectos cardíacos subclínicos relacionados con la terapia con ICI, específicamente inflamación, fibrosis y disfunción sistólica, utilizando RMC.
3	Cadour <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾	2022	Francia	Analizar las características de la RMC en la miocarditis inducida por ICI y explorar su valor pronóstico en eventos cardiovasculares adversos mayores (MACE).
4	Giblin <i>et al.</i> ⁽¹²⁾	2021	Irlanda	Investigar la incidencia, el manejo y el pronóstico de la miocarditis subclínica asociada al tratamiento combinado con ICI en pacientes con melanoma metastásico.
5	Lerchner <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	2025	Alemania	Evaluar el papel de la RMC en la evaluación de la miocarditis relacionada con los ICI en un entorno clínico real.
6	Zhang <i>et al.</i> ⁽¹⁴⁾	2020	USA	Caracterizar la RMC en pacientes con miocarditis asociada a ICI y evaluar la asociación entre estas características y eventos cardiovasculares adversos mayores (MACE)
7	Boussouar <i>et al.</i> ⁽¹⁵⁾	2025	Italia	Monitorizar la miotoxicidad relacionada con los ICI utilizando un enfoque integral de RMC.
8	Tong <i>et al.</i> ⁽¹⁶⁾	2024	Londres	Determinar la concordancia entre la RMC y la tomografía por emisión de positrones con 18F-fluorodesoxiglucosa (FDG-PET) en pacientes con sospecha de miocarditis inducida por ICI.
9	Higgins <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	2021	Brasil	Evaluar el valor de la RMC en pacientes con sospecha de cardiotoxicidad inducida por ICI, específicamente en la detección de miocarditis.
10	Ederhy <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	2020	Francia	Evaluar el diagnóstico de miocarditis asociada a ICI en pacientes con resultados normales en la cMRI, destacando la importancia de la biopsia endomiocárdica (EMB) para confirmar el diagnóstico.
11	Hichem <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	2024	Francia	Ilustrar los desafíos diagnósticos y de manejo de la miocarditis asociada a ICI, especialmente en presentaciones atípicas que pueden imitar otras cardiomiopatías, como la cardiomiopatía infiltrativa.
12	Sato <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	2020	Japón	Monitorear la evolución de la miocarditis asociada a ICI utilizando RMC, evaluando los cambios longitudinales en el tejido miocárdico y su correlación con hallazgos histológicos y clínicos.
13	Gallegos <i>et al.</i> ⁽²¹⁾	2019	USA	Describir un caso de miocarditis inducida por inmunoterapia con ICI (nivolumab e ipilimumab) y correlacionar los hallazgos de la RMC con la histopatología post mortem para resaltar el uso potencial de la RMC en el diagnóstico temprano de esta condición.
14	Ko <i>et al.</i> ⁽²²⁾	2024	USA	Describir un caso atípico de miocarditis inducido por ICI, como pembrolizumab, y su diagnóstico y tratamiento.
15	Arponen & Skytta ⁽²³⁾	2020	Japón	Investigar la incidencia de miocarditis en pacientes que reciben terapia combinada con nivolumab e ipilimumab como tratamiento de primera línea para el carcinoma de células renales (CCR) avanzado.
16	Thavendiranathan <i>et al.</i> ⁽²⁴⁾	2021	USA	Evaluar el valor diagnóstico y pronóstico de la RMC mediante mapeo T1 y T2 en pacientes con miocarditis asociada a ICI.
17	Treiber <i>et al.</i> ⁽²⁵⁾	2023	Alemania	Investigar si los valores regionales de T1, T2 y el volumen extracelular (ECV) dentro de las regiones positivas para realce tardío de gadolinio (RTG) pueden mejorar la diferenciación entre sarcoidosis cardíaca (SC) y miocarditis en comparación con los valores globales de T1, T2 y ECV.
18	Li <i>et al.</i> ⁽²⁶⁾	2024	China	El estudio busca evaluar las características de imagen entre la miocarditis asociada a ICI sensible a corticosteroides (CS) y refractaria a corticosteroides (CR), utilizando RMC, y determinar parámetros potenciales para la detección temprana de la ICI-M refractaria
19	Solano <i>et al.</i> ⁽²⁷⁾	2019	España	Describir los hallazgos de RMC en una serie de pacientes diagnosticados de miocarditis inmunomediada (MIM) por ICI.
20	Zhao <i>et al.</i> ⁽²⁸⁾	2022	China	Evaluar los parámetros cuantitativos de RMC en la detección de lesiones miocárdicas asociadas a la miocarditis inducida por ICI.

ICI: inhibidores de puntos de control inmunitario, ICI-M: miocarditis inducida por inhibidores de punto de control inmunitario, RMC: resonancia magnética cardíaca, T1: tiempo de relajación longitudinal, T2: tiempo de relajación transversal.

aumento significativo en la incidencia de derrame pericárdico, con un paciente (5%) antes y diez pacientes (45%) después del estudio, lo que resultó estadísticamente significativo ($p=0,004$). Por otro lado, Boussouar *et al.* ⁽¹⁵⁾ y Ederhy *et al.* ⁽¹⁸⁾ encontraron derrame pericárdico escaso o leve. Tong *et al.* ⁽¹⁶⁾ registraron derrame pericárdico en cinco pacientes, clasificado como trivial a moderado. Hichem *et al.* ⁽¹⁹⁾ y Gallegos *et al.* ⁽²¹⁾ reportaron la presencia de derrame pericárdico antes o después de sus respectivos estudios. Finalmente, Sato *et al.* ⁽²⁰⁾ y Solano *et al.* ⁽²⁷⁾ no detectaron derrame pericárdico en sus investigaciones.

Sobre el edema miocárdico, nueve estudios no lo evaluaron, no encontraron evidencia o reportaron ausencia. Ederhy *et al.* ⁽¹⁸⁾ y Solano *et al.* ⁽²⁷⁾ describieron resultados normales. Gallegos *et al.* ⁽²¹⁾ no pudieron determinar esta variable debido a la dificultad de la paciente para realizar apnea durante el estudio. Wang *et al.* ⁽⁹⁾ mencionan que hubo presencia de edema miocárdico, al igual que Lerchner *et al.* ⁽¹³⁾ pero que fue raro y no estaba asociado a ICI-M, mientras que Hichem *et al.* ⁽¹⁹⁾ reportaron edema de distribución difusa.

Los resultados positivos de edema miocárdico fueron: Zhang *et al.* ⁽¹⁴⁾ en el 28% de los pacientes y Tong *et al.* ⁽¹⁶⁾ en tres pacientes (25%). Higgins *et al.* ⁽¹⁷⁾ evaluaron el edema miocárdico midiendo la relación T2 miocardio a músculo esquelético (T2 ratio). Una relación ≥ 2 se consideró positiva para edema. Thavendiranathan *et al.* ⁽²⁴⁾ aplicaron los criterios modificados de Lake Louise, encontrando que el 53% cumplió los criterios de edema miocárdico. Finalmente, Zhao *et al.* ⁽²⁸⁾ evaluaron el edema miocárdico mediante imágenes ponderadas en T2 y el índice de edema ($ER \geq 2,0$), con una tasa de anormalidad: 52% de

los pacientes presentaron un índice de edema elevado visto en secuencias STIR.

Sobre T2-mapping ocho investigaciones no reportaron resultados en este parámetro. Sin embargo, los resultados de otros estudios obtenidos mediante T2-mapping reflejan una amplia variabilidad en los valores reportados, dependiendo de las condiciones estudiadas y los parámetros utilizados, detallados en la **Tabla 2**.

En la revisión realizada, cuatro estudios no identificaron fibrosis macroscópica. Tres autores señalaron la presencia de fibrosis, aunque sin detallar valores específicos ^(9,21,25). Por su parte, Giblin *et al.* ⁽¹²⁾ destacaron su ausencia, mientras que Ederhy *et al.* ⁽¹⁸⁾ reportaron resultados sin significancia. Los demás estudios proporcionaron hallazgos más relevantes, los cuales se presentan detalladamente en la **Tabla 3**.

En cuanto al volumen extracelular (VEC o ECV), trece estudios no reportaron resultados de este parámetro. La falta de reportes sobre el VEC en la mayoría de los estudios sugiere que este parámetro no es ampliamente evaluado o reportado. Sin embargo, el VEC es importante para entender la composición tisular y detectar condiciones como la fibrosis.

Los estudios que sí reportaron este parámetro mostraron variabilidad. Cadour *et al.* ⁽¹¹⁾ encontraron valores de $2,59 \pm 1,97$ en un grupo y $1,34 \pm 0,57$ en otro, con un p-valor de 0,03. Boussouar *et al.* ⁽¹⁵⁾ reportaron un 29% y un 24% en sus respectivos grupos. Ederhy *et al.* ⁽¹⁸⁾ reportaron un 26% utilizando T1 nativo y el hematocrito del paciente. Hichem *et al.* ⁽¹⁹⁾ no reportaron valores específicos, pero observaron un aumento significativo y generalizado entre el 45% y el 50% de los pacientes. Treiber

Tabla 2. Resultados de T2-mapping por autor

Autor	T2-Mapping	resultado
Faron <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾	54 ± 3 (antes); 58 ± 4 (después); $p < 0,001$.	Incremento significativo.
Cadour <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾	$0,88 \pm 1,96$ (comparación), Pre-ICI ($-0,76 \pm 1,41$), $p = 0,002$.	Diferencias significativas.
Boussouar <i>et al.</i> ⁽¹⁵⁾	T2 = 56 ms. T2 = 47 ms (resolución completa del edema).	valores moderados y difusos (valor de referencia local T2 = 48 ms +/- 5 ms).
Tong <i>et al.</i> ⁽¹⁶⁾	Media T2 = 54 ± 5 ms (< 55 ms).	Valores normales.
Higgins <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	Un T2 > 52 ms.	anormal cualquier valor superior a 52 ms.
Ederhy <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	Global T2: 42 ± 3 ms. Regional T2 (pared lateral): 41 ± 2 ms. Regional T2 (pared septal): 43 ± 1 ms.	Valores normales.
Hichem <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	Valores borderline alrededor de 57 ms en el septum.	Aumento en T2.
Sato <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	79 ms (valor normal: 46 ± 4 ms). 70 ms (persistencia elevada).	Valores elevados.
Thavendiranathan <i>et al.</i> ⁽²⁴⁾	Los valores de T2 fueron de $56,2 \pm 4,9$ ms en comparación con los valores de referencia de $49,8 \pm 2,2$ ms ($p < 0,001$).	Anormales en el 43% de los pacientes evaluados.
Treiber <i>et al.</i> ⁽²⁵⁾	Valores globales.	Sin diferencia.
Solano <i>et al.</i> ⁽²⁷⁾	No Especificado.	Normal, alto, alto segmentario.
Zhao <i>et al.</i> ⁽²⁸⁾	Valor normal de referencia: $50,98 \pm 1,31$ ms. Valor promedio en pacientes: No especificado numéricamente, pero elevado en el 92% de los casos. Tasa de anormalidad: 92%, significativamente mayor que otros métodos cualitativos como ER y RTG	Significativamente elevado en pacientes con miocarditis asociada a ICI.

ICI: inhibidores de puntos de control inmunitario, T2: tiempo de relajación transversal, ER: índice de edema, RTG: realce tardío de gadolinio.

Tabla 3. Resultados de realce tardío de gadolínico por autor.

Autor	RTG
Faron <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾	N/A (antes), 2 (9%) (después).
Cadour <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾	82% (ICI-M), pre-ICI (10%); p = 0,001.
Lerchner <i>et al.</i> ⁽¹³⁾	ICI-M (56,0 %); 26,7 % en no-M; P = 0,03.
Zhang <i>et al.</i> ⁽¹⁴⁾	Presente en 48% de los pacientes. Subendocárdico/transmural, subepicárdico, miocárdico medio y difuso.
Tong <i>et al.</i> ⁽¹⁶⁾	Presente en ocho pacientes (67%). Patrones: mesocárdico (4/8), subendocárdico (3/8), subepicárdico (1/8).
Higgins <i>et al.</i> ⁽¹⁷⁾	El 80% de los pacientes (16 pacientes) presentó RTG (14 patrón no isquémico y 2 isquémico). El porcentaje de RTG no se correlacionó con la FEVI (rs = -0,29, p = 0,22) ni con el SLG (rs = 0,10, p = 0,67).
Hichem <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	No presente (antes). Presente (después), predomina en la pared lateral, de forma nodular.
Sato <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	Parches en pared inferolateral. Fibrosis subendocárdica difusa.
Li <i>et al.</i> ⁽²⁶⁾	Presente en 22 pacientes (62,86%) con ICI-M. No se comparan diferencias significativas entre los grupos CS y CR en cuanto a la presencia de RTG.
Solano <i>et al.</i> ⁽²⁷⁾	Dudoso, normal, normal. Presencia: Detectada en el 68% de los pacientes. Extensión promedio: 10,38±9,64%. Patrones principales: Mid-miocárdico (27%). Subepicárdico (25%). Difuso (9%).
Zhao <i>et al.</i> ⁽²⁸⁾	No se detectó patrón subendocárdico. Correlación: Positiva con el valor nativo de T1 (r=0,28, p<0,04, r=0,28,p<0,04). Positiva con el volumen extracelular (ECV) (r=0,50, p=0,001, r=0,50,p=0,001).

ICI: inhibidores de puntos de control inmunitario, ICI-M: miocarditis inducida por inhibidores de punto de control inmunitario, T1: tiempo de relajación longitudinal, FEVI: fracción de eyección del ventrículo izquierdo, RTG: realce tardío de gadolínico, SLG: strain longitudinal global, CS: sensible a corticosteroides, CR: refractaria a corticosteroides.

et al. ⁽²⁵⁾ se enfocaron en la región RTG-positiva sin proporcionar datos cuantitativos directos del VEC. Solano *et al.* ⁽²⁷⁾ indicaron resultados normales en un paciente, aumentado en otro y aumentado segmentariamente en un tercero. Zhao *et al.* ⁽²⁸⁾ reportaron un valor promedio de 30,26±5,01%, que fue elevado en comparación con los valores normales.

De los estudios analizados, el 40% no presentó resultados basados en la técnica T1-mapping. Esta carencia en un porcentaje considerable de investigaciones limita el entendimiento de su utilidad potencial en el diagnóstico de patologías miocárdicas. No obstante, en los casos en que se aplicó, el T1-mapping demostró ser una herramienta valiosa para la caracterización del tejido miocárdico, permitiendo la detección de condiciones como la fibrosis. Los estudios con hallazgos significativos al respecto se detallan en la **Tabla 4**.

De los estudios, el 20% no reportaron fibrosis macroscópica. La ausencia de reportes sobre fibrosis macroscópica en un porcentaje de estudios podría indicar que no siempre se considera relevante o que no se detectó en la población estudiada.

Parámetros más sensibles y utilidad pronóstica estudiados

Entre los parámetros evaluados, el SLG y el T1-mapping nativo emergieron como los más sensibles para la detección temprana de disfunción miocárdica. El SLG mostró alteraciones

incluso en presencia de una FEVI preservada, como lo reportan Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ y Higgins *et al.* ⁽¹⁷⁾, sugiriendo una detección más precoz del compromiso funcional. Por su parte, el T1 nativo se asoció con cambios microestructurales del miocardio con alta prevalencia de anormalidad, mostrando gran sensibilidad incluso frente a otros parámetros clásicos como el RTG o el edema por T2-mapping.

Parámetros como el RTG, el T1-mapping y el VEC han mostrado asociación con MACE y, por tanto, poseen un valor pronóstico significativo. Thavendiranathan *et al.* ⁽²⁴⁾ demostraron que un T1 nativo elevado se correlaciona con riesgo cardiovascular, con un área bajo la curva (AUC) de 0,91 para la predicción de MACE. Asimismo, la extensión del RTG mostró correlaciones con fibrosis y volumen extracelular, lo que indica su utilidad como marcador de daño estructural irreversible. Algunos parámetros, como el SLG del ventrículo derecho, no mostraron utilidad pronóstica independiente cuando se ajustan por otros factores ⁽²⁹⁾.

Discusión

Los ICI han revolucionado el tratamiento del cáncer, pero están relacionados con toxicidades inmunitarias, incluida la miocarditis, que se caracteriza por la infiltración de células T

Tabla 4. Resultados de T1-mapping por autor.

Autor	T1-Mapping
Faron <i>et al.</i> ⁽¹⁰⁾	972 ± 26 (antes); 1006 ± 36 (después), P < 0,001 (Diferencia significativa).
Cadour <i>et al.</i> ⁽¹¹⁾	1,79 ± 1,93 (antes); 0,03 ± 0,85 (después); P = 0,001 (Diferencia significativa).
Boussouar <i>et al.</i> ⁽¹⁵⁾	985 ms (Valor normal).
Tong <i>et al.</i> ⁽¹⁶⁾	Valores de T1 miocárdico entre los casos negativos y positivos de CMR (1065 ± 19 ms vs. 1086 ± 19 ms, p = 0,03) (Diferencia significativa).
Ederhy <i>et al.</i> ⁽¹⁸⁾	Global nativo T1: 1296±34 ms; Regional nativo T1 (pared lateral): 1313±46 ms; Regional nativo T1 (pared septal): 1311±32 ms. Valores normales.
Hichem <i>et al.</i> ⁽¹⁹⁾	No hay elevación de T1 (antes). Aumento en T1 (después).
Sato <i>et al.</i> ⁽²⁰⁾	1505 ms (normal: 1314±29 ms). 1431 ms (después). Mejoría parcial.
Thavendirathan <i>et al.</i> ⁽²⁴⁾	Los valores nativos de T1 fueron de 1079,0 ± 55,5 ms en comparación con los valores de referencia de 1000,3 ± 22,1 ms (p < 0,001). Mostraron un valor discriminatorio excelente para MACE, con un área bajo la curva de 0,91 (intervalo de confianza del 95%: 0,84 a 0,98). Valores anormales de T1 en el 78% de los pacientes.
Treiber <i>et al.</i> ⁽²⁵⁾	Regional (en áreas RTG-positivas) Valores incrementados
Solano <i>et al.</i> ⁽²⁷⁾	Normal, alto, alto segmentario
Zhao <i>et al.</i> ⁽²⁸⁾	Valor normal de referencia: 1020,37±17,21ms. Valor promedio en pacientes. Tasa de anormalidad: detectado como anómalo en el 73% de los pacientes. Elevado significativamente

T1: tiempo de relajación longitudinal, MACE: eventos cardiovasculares adversos mayores, RTG: realce tardío de gadolinio.

(CD3+, CD4+, CD8+) y macrófagos (CD68+). El diagnóstico presenta desafíos, basándose en la clínica, el ECG, los biomarcadores y las imágenes. La biopsia endomiocárdica es crucial, mientras que la RMC tiene limitaciones. Destaca el papel de las imágenes médicas en la mejora del manejo de la miocarditis relacionada con los ICI, abarcando el diagnóstico, el pronóstico y las decisiones terapéuticas ⁽³⁰⁾.

En este estudio, la FEVI fue uno de los parámetros más frecuentemente evaluados en los estudios revisados. En el 45% de los casos, se reportaron valores normales (>50%), mientras que un 15% de los estudios documentaron insuficiencia cardíaca con FEVI <50%. Además, un 10% encontró reducciones leves en la FEVI, aunque por encima del umbral crítico del 50%. Estos hallazgos indican que la FEVI sigue siendo un indicador esencial para evaluar la función ventricular y clasificar la insuficiencia cardíaca en pacientes con miocarditis inducida por ICI. Sin embargo, la variabilidad en la evaluación y el reporte de este parámetro puede dificultar la comparabilidad entre estudios.

El RTG fue reportado en varios estudios como una herramienta clave para identificar fibrosis macroscópica. Higgins *et al.* ⁽¹⁷⁾ encontraron RTG en el 80% de los pacientes, predominando patrones no isquémicos. Además, Zhao *et al.* ⁽²⁸⁾ identificaron correlaciones positivas entre RTG y parámetros como el volumen extracelular (VEC), lo que refuerza su utilidad para evaluar daño estructural. Respecto al VEC, aunque no

todos los estudios lo evaluaron, aquellos que sí lo hicieron reportaron valores elevados en pacientes con miocarditis asociada a ICI. También documentaron un promedio del 30,26%, significativamente mayor que los valores normales, es decir, fibrosis difusa.

Por otro lado, el patrón de realce tardío de gadolinio descrito en los estudios revisados fue predominantemente no isquémico, caracterizado por una distribución subepicárdica o mesomiocárdica y no territorial, lo cual es consistente con la etiología inflamatoria de la miocarditis asociada a ICI.

Arcari *et al.* ⁽⁸⁾ estudiaron el uso de RMC en la miocarditis inducida por ICI-M, revelando que, aunque la FEVI se mantiene preservada en muchos casos, la prevalencia de edema y fibrosis, detectados mediante RTG, es menor de lo esperado. Sin embargo, el uso de técnicas avanzadas como el mapeo T1 y T2 proporciona una evaluación más precisa, siendo el mapeo T1 nativo el que muestra mayor concordancia con las biopsias endomiocárdicas (BEM) y un valor pronóstico significativo.

Benz *et al.* ⁽³¹⁾ analizaron el valor de los biomarcadores de RMC como puntos finales sustitutos en ensayos clínicos de enfermedades miocárdicas. La RMC permite monitorizar con precisión la actividad de la enfermedad y cuantificar la respuesta a nuevas terapias mediante la evaluación de volúmenes cardíacos, masa y función, así como la caracterización del tejido miocárdico. A pesar de sus ventajas, la accesibilidad a la CMR sigue siendo limitada y su susceptibilidad a artefactos requiere una estandarización rigurosa en los ensayos clínicos.

Aunque los biomarcadores de RMC son prometedores, no reemplazan la necesidad de un tamaño de muestra adecuado para evaluar la eficacia clínica y la seguridad, ni cumplen completamente con las regulaciones para la aprobación de nuevos tratamientos.

Popa *et al.* ⁽³²⁾ indicaron que los parámetros predictivos más significativos para los eventos cardiovasculares mayores (MACE) son el RTG, el edema miocárdico y el T1 nativo prolongado. El RTG no significa necesariamente fibrosis constituida en presencia de edema y puede desaparecer con el tiempo. El RTG sin edema podría representar fibrosis, mientras que la persistencia del edema representa inflamación activa y podría asociarse con la posibilidad residual de recuperación completa. La RMC debe realizarse en todos los pacientes con miocarditis aguda a los 6 meses para evaluar el progreso y el pronóstico.

Díaz-Navarro *et al.* ⁽³³⁾ evaluaron las características de la RMC en pacientes con miocarditis aguda que fueron inicialmente diagnosticados con infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST. Los hallazgos revelaron edema miocárdico y realce tardío de gadolinio en todos los pacientes. El edema afectó casi la mitad de la masa ventricular izquierda, mientras que el realce tardío fue menor. En conclusión, la RMC se presenta como una herramienta diagnóstica clave para diferenciar la miocarditis aguda del IAM, especialmente cuando la primera simula un infarto.

La presencia de edema miocárdico fue variable. Mientras que algunos reportaron ausencia o valores normales, otros documentaron tasas significativas de edema mediante técnicas como T2-mapping y otros criterios modificados de Lake Louise. Tal como Zhao *et al.* ⁽²⁸⁾ quienes encontraron índices elevados de edema en el 52% de los pacientes evaluados, es decir, alta prevalencia asociada a ICI-M. En cuanto al derrame pericárdico, aunque no fue frecuente, algunos estudios como Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ observaron un aumento significativo tras el tratamiento con ICI (de un paciente antes del estudio a diez pacientes después; $p=0,004$). Esto podría indicar una relación entre el uso de ICI y cambios inflamatorios pericárdicos.

En cuanto al T2-mapping, Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ reportaron un incremento significativo en los valores promedio de T2 tras el tratamiento (de 54 ms a 58 ms; $p<0,001$). De manera similar, el T1-mapping también demostró ser una herramienta valiosa para identificar fibrosis microscópica y discriminar riesgos cardiovasculares adversos mayores (MACE). Thavendiranathan *et al.* ⁽²⁴⁾ encontraron valores anormales de T1 en el 78% de los pacientes evaluados.

Brendel *et al.* ⁽³⁴⁾ evaluaron la capacidad de la RMC para detectar inflamación activa y diferenciar entre miocarditis crónica y miocarditis curada. Los resultados mostraron que el mapeo T2 fue el parámetro más preciso para detectar miocarditis crónica, especialmente si era anormal en tres o más segmentos. La combinación del mapeo T2 con biomarcadores como la troponina o la proteína C reactiva mejoró la especificidad. La RMC multiparamétrica puede discriminar entre miocarditis crónica y curada con mayor precisión que el mapeo T1, la fracción de volumen extracelular y el realce tardío de gadolinio.

Bernhard *et al.* ⁽²⁹⁾ en un estudio de pacientes con sospecha de miocarditis, encontraron que la alteración del strain longitudinal global (SLG) del ventrículo derecho (RV SLG) estaba presente en el 21,9% de los casos. Si bien la alteración del RV SLG se asoció con MACE, esta asociación desapareció después de ajustar por RVEF, LVEF, el LV SLG y la extensión del RTG del ventrículo izquierdo. Es decir, la evaluación del RV SLG en el contexto de la miocarditis tiene un valor limitado, ya que no proporciona información pronóstica independiente una vez que se consideran la función ventricular derecha e izquierda y las características del tejido.

Ferreira *et al.* ⁽⁵⁾ indican que la RMC proporciona evidencia sólida de inflamación miocárdica si se demuestra la combinación de edema miocárdico con otros marcadores de lesión miocárdica inflamatoria. Esto se basa en al menos un criterio basado en T2, con al menos un criterio basado en T1. Esta actualización tiene como objetivo mejorar la precisión diagnóstica de la RMC en la detección de la inflamación miocárdica.

Kirkpatrick *et al.* ⁽³⁵⁾ destacaron la evolución y la creciente importancia de la RMC en el diagnóstico y manejo de la miocarditis, especialmente en el contexto de la pandemia de SARS-CoV-2 y la vacunación contra la COVID-19. Inicialmente, la RMC luchó por establecer su nicho debido a factores como las batallas territoriales entre radiología y cardiología, problemas de reembolso y la competencia de la tomografía computarizada cardíaca (TC). Sin embargo, los avances tecnológicos, como las secuencias aceleradas y las técnicas de mapeo T1 y T2, han mejorado la eficiencia y la caracterización de tejidos, ampliando su aplicación clínica. La RMC se ha convertido en una herramienta esencial para evaluar pacientes con miocardiopatías no isquémicas y dolor torácico sin evidencia de enfermedad coronaria.

El SLG fue evaluado en solo el 25% de los estudios, lo que refleja una baja adopción de este parámetro en la literatura revisada. Sin embargo, los datos disponibles sugieren que las alteraciones en el SLG pueden preceder a las disminuciones en la FEVI, lo que lo convierte en un posible marcador temprano de disfunción miocárdica. Faron *et al.* ⁽¹⁰⁾ reportaron una disminución significativa del SLG tras la intervención (de -23,4% a -19,6%, $p=0,005$), mientras que Hichem *et al.* ⁽¹⁹⁾ identificaron patrones específicos como el apical sparing. La alteración subepicárdica del *strain* observada en algunos casos de miocarditis puede explicarse por la fisiopatología propia del proceso inflamatorio. En la miocarditis, la respuesta inflamatoria suele iniciarse a nivel epicárdico y posteriormente extenderse hacia la región miocárdica media, respetando en fases iniciales el subendocardio. Estos resultados subrayan la importancia del SLG para detectar cardiotoxicidad temprana.

Como conclusión, los estudios revisados resaltaron el valor de la RMC como herramienta avanzada para evaluar complicaciones cardiovasculares asociadas a inhibidores de puntos de control inmunitario. Parámetros como FEVI, SLG, RTG, VEC y el T1 nativo aportaron información esencial sobre la función ventricular, las alteraciones estructurales y el riesgo de eventos adversos mayores. No obstante, persiste una limitada implementación de técnicas sensibles como el SLG y el mapeo

T1/T2, lo que refleja una brecha tecnológica y formativa en muchos centros clínicos.

Los biomarcadores enfrentan limitaciones en su aplicación clínica. La falta de estandarización en la obtención e interpretación de valores de SLG, T1/T2-mapping y VEC dificulta su comparabilidad entre centros y estudios. Además, la disponibilidad limitada de RMC de alta resolución y la susceptibilidad a artefactos⁽³¹⁾, son barreras para su uso rutinario. Por ello, es necesario establecer protocolos estandarizados y mejorar la accesibilidad a estas técnicas para lograr una implementación más amplia y confiable en la práctica clínica.

Esta revisión de alcance presenta varias limitaciones. La evidencia disponible mostró heterogeneidad en los diseños de estudio, en los criterios diagnósticos y en los protocolos de RMC, lo que dificulta la comparación entre investigaciones. Al tratarse de una revisión de alcance, no se evaluó la calidad metodológica individual de los estudios incluidos; por ello, los resultados deben interpretarse como un mapeo descriptivo del estado del conocimiento y no como una síntesis crítica.

La búsqueda se restringió a artículos en inglés y español, lo que podría introducir sesgo de idioma, y no se incorporó de manera exhaustiva la literatura gris. Finalmente, la rápida evolución del campo implica que investigaciones recientes podrían no haber sido identificadas en la última búsqueda realizada.

Futuras investigaciones deben enfocarse en validar diagnósticos consensuados, promover la incorporación de estos parámetros en guías clínicas internacionales y consolidar al T1 nativo como un posible biomarcador clave en el seguimiento de pacientes oncológicos bajo ICI. Asimismo, se requiere el diseño de estudios prospectivos y ensayos clínicos controlados que permitan establecer asociaciones causales sólidas entre la administración de ICI y las alteraciones miocárdicas detectadas por RMC multiparamétrica.

Contribución de los autores

EQS, KGM: conceptualización, metodología, validación, análisis formal, investigación, redacción, revisión. **NAA, LCD:** revisión, edición y supervisión.

Referencias bibliográficas

- Trujillo D, Balderas F, Hernández R. Miocarditis por inhibidores del punto de control inmunitario: el futuro es hoy. *Med Int Méx.* 2024;40(7):413-29. doi: 10.24245/mim.v40iAgosto.8939.
- Douglas B, Johnson MD, Jakubovic BD, Sibaud V, Sise M. Balancing Cancer Immunotherapy Efficacy and Toxicity. Chief Complaint Review. *J Allergy Clin Immunol Pract.* 2020;8(9):2898-2906. doi: 10.1016/j.jaip.2020.06.028.
- Champion SN, Stone JR. Immune checkpoint inhibitor associated myocarditis occurs in both high-grade and low-grade forms. *Modern Pathology.* 2020;33(1):99-108. doi: 10.1038/s41379-019-0363-0.
- Domínguez F, Uribarri A, Larrañaga-Moreira JM, Ruiz-Guerrero L, Pastor-Pueyo P, Gayán-Ordás J, et al. Diagnosis and treatment of myocarditis and inflammatory cardiomyopathy. Consensus document of the SEC-Working Group on Myocarditis. *Rev Esp Cardiol.* 2024;77(8):667-79. doi: 10.1016/j.recesp.2024.02.014.
- Ferreira VM, Schulz-Menger J, Holmvang G, Kramer CM, Carbone I, Sechtem U, et al. Cardiovascular Magnetic Resonance in Nonischemic Myocardial Inflammation: Expert Recommendations. *J of the Amer College of Cardiol.* 2018;72(24):3158-3176. doi: 10.1016/j.jacc.2018.09.072.
- Moon JC, Messroghli DR, Kellman P, Piechnik SK, Robson MD, Ugander M, et al. Myocardial T1 mapping and extracellular volume quantification: A Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) and CMR Working Group of the European Society of Cardiology consensus statement. *J Cardio Magn Reson.* 2013;15(1):92. doi: 10.1186/1532-429X-15-92.
- Kramer CM, Barkhausen J, Bucciarelli-Ducci C, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E. Standardized cardiovascular magnetic resonance imaging (CMR) protocols: 2020 update. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2020;22(1):17. doi: 10.1186/s12968-020-00607-1.
- Arcari L, Tini G, Camastra G, Ciolina F, De Santis D, Russo D, et al. Cardiac Magnetic Resonance Imaging in Immune Checkpoint Inhibitor Myocarditis: A Systematic Review. *J Imaging.* 2022;8(4):99. doi: 10.3390/jimaging8040099.
- Wang Y, Ertl C, Schmitt C, Hammann L, Kramer R, Grabmaier U, et al. Stringent monitoring can decrease mortality of immune checkpoint inhibitor induced cardiotoxicity. *Front Cardiovasc Med.* 2024;11:1408586. doi: 10.3389/fcvm.2024.1408586.
- Faron A, Isaak A, Mesropyan N, Reinert M, Schwab K, Sirokay J, et al. Cardiac mri depicts immune checkpoint inhibitor-induced myocarditis: A prospective study. *Radiology.* 2021;301(3):602-9. Doi: 10.1148/radiol.2021210814.
- Cadour F, Cautela J, Rapacchi S, Varoquaux A, Habert P, Arnaud F, et al. Cardiac MRI Features and Prognostic Value in Immune Checkpoint Inhibitor-induced Myocarditis. *Radiology.* 2022;303(3):512-21. doi: 10.1148/radiol.211765.
- Giblin GT, Dennehy C, Featherstone H, Clarke R, Murphy L, Timlin D, et al. Subclinical Myocarditis After Combination Immune Checkpoint Inhibitor Therapy. *Circ Heart Fail.* 2021;14(2):E007524. doi: 10.1161/CIRCHEARTFAILURE.120.007524.
- Lerchner T, Mincu RI, Bühning F, Vogel J, Klingel K, Meetschen M, et al. Cardiac magnetic resonance imaging in patients with suspected myocarditis from immune checkpoint inhibitor therapy – A real-world observational study. *Int J Cardiol Heart Vasc.* 2024;56:101581. doi: 10.1016/j.ijcha.2024.101581
- Zhang L, Awadalla M, Mahmood S, Nohria A, Hassan M, Thuny F, et al. Immune checkpoint inhibitor cardiotoxicity: What can we learn from real life data on CMR as a diagnostic tool? *Eur Heart J.* 2020;41(18):1744-1746. doi: 10.1093/eurheartj/ehaa136.
- Boussouar S, Charpentier E, Abbar B, Gonzalez J, Similowski T, Kerneis M, et al. Case Report: Immune checkpoint-inhibitor related myotoxicity monitoring using a comprehensive cardiothoracic MRI approach: insights from a clinical case. *Front Cardiovasc Med.* 2025;12:1527048. doi: 10.3389/fcvm.2025.1527048.
- Tong J, Vogiatzakis N, Andres MS, Senechal I, Badr A, Ramalingam S, et al. Complementary use of cardiac magnetic resonance and 18 F-FDG positron emission tomography imaging in suspected immune checkpoint inhibitor myocarditis. *Cardiooncology.* 2024;10(1):53. doi: 10.1186/s40959-024-00250-0.
- Higgins AY, Arbune A, Soufer A, Ragheb E, Kwan JM, Lamy J, et al. Left ventricular myocardial strain and tissue characterization by cardiac magnetic resonance imaging in immune

- checkpoint inhibitor associated cardiotoxicity. *PLoS One*. 2021;16(2):e0246764. doi: 10.1371/journal.pone.0246764.
18. Ederhy S, Fenioux C, Cholet C, Rouvier P, Redheuil A, Cohen A, et al. Immune Checkpoint Inhibitor Myocarditis with Normal Cardiac Magnetic Resonance Imaging: Importance of Cardiac Biopsy and Early Diagnosis. *Can J Cardiol*. 2021;37(10):1654-1656. doi: 10.1016/j.cjca.2020.12.022.
 19. Hichem S, Virgile C, Laurette K, Riad A, Ariane L, Guillaume R, et al. Fatal Immune Checkpoint Inhibitor-associated Myocarditis Mimicking Infiltrative Cardiomyopathy in a 54-year-old Woman with Metastatic Melanoma. *J. Radiol Oncol*. 2024;8(1):046-50. doi: 10.29328/journal.jro.1001063.
 20. Sato T, Nakamori S, Watanabe S, Nishikawa K, Inoue T, Imanaka-Yoshida K, et al. Monitoring of the Evolution of Immune Checkpoint Inhibitor Myocarditis With Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2020;13(11):E010633. doi: 10.1161/CIRCIMAGING.120.010633.
 21. Gallegos C, Rottmann D, Nguyen VQ, Baldassarre LA. Myocarditis with checkpoint inhibitor immunotherapy: Case report of late gadolinium enhancement on cardiac magnetic resonance with pathology correlate. *Eur Heart J Case Rep*. 2019;3(1):yty149. doi: 10.1093/ehjcr/yty149.
 22. Ko J, Wardill T, Tan S, Ramkumar S. Immunotherapy-mediated myocarditis and concurrent vasospastic angina in a patient with established ischaemic heart disease: a case report. *Eur Heart J Case Rep*. 2024;8(12):ytae620. doi: 10.1093/ehjcr/ytae620.
 23. Arponen O, Skyttä T. Immune checkpoint inhibitor-induced myocarditis not visible with cardiac magnetic resonance imaging but detected with PET-CT: a case report. *Acta Oncol*. 2020;59(4):490-492. doi: 10.1080/0284186X.2019.1711174.
 24. Thavendiranathan P, Zhang L, Zafar A, Drobni ZD, Mahmood SS, Cabral M, et al. Myocardial T1 and T2 Mapping by Magnetic Resonance in Patients With Immune Checkpoint Inhibitor-Associated Myocarditis. *J Am Coll Cardiol*. 2021;77(12):1503-16. doi: 10.1016/j.jacc.2021.01.050.
 25. Treiber J, Novak D, Fischer-Rasokat U, Wolter JS, Kriechbaum S, Weferling M, et al. Regional extracellular volume within late gadolinium enhancement-positive myocardium to differentiate cardiac sarcoidosis from myocarditis of other etiology: a cardiovascular magnetic resonance study. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2023;25(1):8. doi: 10.1186/s12968-023-00918-z.
 26. Li Z, Zhao R, Wang C, Wang Y, Lin J, Zhao S, et al. Cardiac magnetic resonance-based layer-specific strain in immune checkpoint inhibitor-associated myocarditis. *ESC Heart Fail*. 2024;11(2):1061-75. doi: 10.1002/ehf2.14664.
 27. Solano JM, Bianchi MA, Corisco Beltrán R, Montero MG, David EP, Pérez Fernández S, et al. Utilidad de la resonancia magnética cardíaca en el diagnóstico de la miocarditis inmunomediada por inhibidores del punto de control inmune. *Rev Esp Cardiol*. 2019;72.
 28. Zhao SH, Yun H, Chen CZ, Chen YY, Lin JY, Zeng MS, et al. Applying quantitative CMR parameters for detecting myocardial lesion in immune checkpoint inhibitors-associated myocarditis. *Eur J Radiol*. 2022;156:110558. doi: 10.1016/j.ejrad.2022.110558.
 29. Bernhard B, Tanner G, Garachemani D, Schnyder A, Fischer K, Huber AT, et al. Predictive value of cardiac magnetic resonance right ventricular longitudinal strain in patients with suspected myocarditis. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2023;25(1):49. doi: 10.1186/s12968-023-00957-6.
 30. Ederhy S, Salem JE, Derle L, Hasan AS, Chauvet-Droit M, Nhan P, et al. Role of Cardiac Imaging in the Diagnosis of Immune Checkpoints Inhibitors Related Myocarditis. *Front. Oncol*. 2021;11:640985. doi: 10.3389/fonc.2021.640985.
 31. Benz DC, Gräni C, Antiochos P, Heydari B, Gissler MC, Ge Y, et al. Cardiac magnetic resonance biomarkers as surrogate endpoints in cardiovascular trials for myocardial diseases. *Eur Heart J*. 2023;44(45):4738-4747. doi: 10.1093/eurheartj/ehad510.
 32. Popa A, Cionca C, Agoston R, Rusu F, Tarcau BM, Negru A, et al. The Role of Magnetic Resonance Imaging in Risk Stratification of Patients with Acute Myocarditis. *Diagnostics (Basel)*. 2024;14(13):1426. doi: 10.3390/diagnostics14131426.
 33. Díaz-Navarro R, Pepe RV, González DS. El rol de la resonancia magnética cardíaca en el diagnóstico diferencial entre miocarditis aguda e infarto agudo de miocardio con elevación del segmento ST. *Rev Med Chile*. 2021;149(6):875-882. doi: 10.4067/s0034-98872021001001399.
 34. Brendel JM, Klingel K, Gräni C, Blankstein R, Kübler J, Hagen F, et al. Multiparametric Cardiac Magnetic Resonance Imaging to Discriminate Endomyocardial Biopsy-Proven Chronic Myocarditis From Healed Myocarditis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2024;17(10):1182-1195. doi: 10.1016/j.jcmg.2024.06.009.
 35. Kirkpatrick IDC. On Myocarditis and a New Era for Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Can Assoc Radiol J*. 2023;74(1):20-21. doi: 10.1177/08465371221120034.