

# DETERMINACIÓN DEL TIEMPO T1 Y T2 NATIVO MIOCÁRDICO EN ADULTOS SANOS MEDIANTE RESONANCIA MAGNÉTICA CARDÍACA DE 1.5 TESLA EN RESONADOR GE SIGNA ARTIST DE CLÍNICA ALEMANA DE SANTIAGO, DURANTE EL AÑO 2022

Sofía Carretero Flores<sup>a\*</sup>

Catalina Jara Conejeros<sup>a</sup>

Constanza Müller Gabriele<sup>a</sup>

Ignacio Rodríguez Saavedra<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Estudiante de Tecnología Médica, Facultad de Medicina Clínica Alemana de Santiago - Universidad del Desarrollo.

Artículo recibido el 8 de octubre, 2022. Aceptado en versión corregida el 23 de diciembre, 2022.

## RESUMEN

**Introducción:** El mapeo T1 y T2 permite cuantificar los valores de los tiempos de relajación T1 y T2 del miocardio.

**Objetivo:** Determinar el tiempo T1 MOLLI, T1 SASHA y T2 nativo del tejido miocárdico en adultos voluntarios sanos en Resonancia Magnética Cardíaca de 1.5 Tesla y, posteriormente, compararlo con los valores de la literatura médica actualizada. **Metodología:** Desarrollado en Clínica Alemana de Santiago, sede Vitacura. Se realizaron Resonancias Magnéticas Cardíacas en el resonador GE SIGNA Artist de 1.5T, a 63 voluntarios adultos sanos (media edad  $\pm$  desviación estándar;  $38 \pm 14$ ; 41 mujeres; 22 hombres) en un intervalo de 3 meses. Los tiempos T1 y T2 nativos del miocardio fueron analizados mediante el software Cvi42. La distribución normal de los datos fue evaluada usando la prueba Kolmogorov - Smirnov, y para la comparación con la literatura, se calculó la media de dichos valores. **Resultado:** Todos los datos presentan distribución normal. La media de los tiempos de relajación por secuencias MOLLI, SASHA y T2, fue de  $1042 \pm 43$ ,  $1181 \pm 75$  y  $55 \pm 3$ , respectivamente. **Conclusión:** Esta investigación permitió la determinación de los rangos de normalidad del tejido miocárdico en adultos sanos, valores que aportarán como herramienta complementaria a todas las técnicas utilizadas en RMC hasta el momento.

**Palabras clave:** Mapeo T1, Mapeo T2, Miocardio, Tiempos de relajación.

## INTRODUCCIÓN

Hasta hace poco tiempo, el protocolo para la realización de una Resonancia Magnética Cardíaca (RMC) contaba, a grandes rasgos, de 3 módulos. Primero, el módulo de función, donde se entrega una visión morfo funcional cardíaca. Luego, el módulo de perfusión miocárdica con gadolinio, que consiste en la adquisición precoz de una serie dinámica de imágenes, mientras se administra medio de contraste (MDC). Por último, el módulo de realce tardío, que se hace luego de 10 minutos de administrado el MDC.

Con la incorporación del módulo de caracterización tisular, que consiste en el mapeo T1 y T2 del miocardio, es posible realizar un análisis automático entregando un mapa paramétrico con valores en milisegundos (ms)<sup>1</sup>. Esto permite cuantificar el valor de los tiempos de relajación T1 y T2 de manera objetiva. Por este gran avance, es posible abordar de mejor manera el diagnóstico médico con información valiosa. Por lo tanto, es necesario determinar las condiciones de normalidad en pacientes sanos para poder comparar los valores normales con los patológicos como, por ejemplo, en la Insuficiencia Cardíaca, Infarto Agudo al Miocardio y cardiomiopatías<sup>2</sup>.

Para este último módulo las secuencias que se utilizan para mapeo T1 son Modified Look-Locker Inversion Recovery (MOLLI) y Saturation Recovery Single-Shot Acquisition (SASHA). La secuencia MOLLI es una técnica utilizada para el mapeo T1 basada en pulsos de inversión de la magnetización

transversal, que se aplican repetidas veces a largo de diversos latidos cardíacos. Se conforma por la adquisición de múltiples imágenes de disparo único en la curva de recuperación caracterizada por T1 después de un pulso de inversión<sup>3</sup>. La variante más usada de la secuencia MOLLI es el 5(3)3, que consta de 5 latidos con adquisición de imágenes, 3 latidos de pausa y nuevamente, 3 latidos de adquisición de imágenes, ya que disminuye la dependencia de la frecuencia cardíaca y la apnea<sup>4</sup>.

Por otro lado, SASHA es una secuencia de recuperación de saturación de un único disparo, basada en la anulación activa de la magnetización longitudinal en distintos momentos para así ir ajustando la curva de relajación de T1. A diferencia de MOLLI, cada pulso de saturación usado, restablece la magnetización de los ciclos anteriores a cero y, por lo tanto, cada imagen es independiente entre sí, permitiendo realizar una estimación directa de los valores T1<sup>5</sup>.

Para la determinación del mapeo T2 se usa la secuencia T2 Prep la cual es una técnica "Steady State Free Precession" que consta de una preparación del tejido tisular previa a la aplicación de la secuencia de gradiente (GRE). Se utiliza para la obtención de imágenes en una única pausa o a través de respiración libre<sup>6</sup>.

De acuerdo con las pautas actuales de la Sociedad de Resonancia Magnética Cardiovascular<sup>7</sup>, los rangos de referencia deben establecerse en cada institución, esto considerando los factores que

\*Correspondencia: scarreterof@udd.cl  
2022, Revista Confluencia, 5(2), 51-55



afectan y modifican los tiempos T1 y T2 nativos del tejido miocárdico de pacientes sanos. Por lo tanto, ¿Cuál es el tiempo T1 y T2 normal del tejido miocárdico en Resonador GE SIGNA Artist de 1.5 Tesla de Clínica Alemana de Santiago, sede de Vitacura?

Para responder esto, el presente estudio utilizó como rangos de normalidad, valores de referencia de la revisión sistemática de Emily Aherne et. al del año 2020<sup>8</sup>, realizado en equipos Siemens y Philips, que entrega una descripción general de los estudios con más voluntarios para el mapeo nativo de T1, donde se detallan valores de normalidad de 985 - 1065 ms para MOLLI y 1100 - 1190 ms para SASHA. El tamaño muestral utilizado fue de 94 voluntarios sanos (rango 20-76 años) sin antecedentes de enfermedad cardiovascular, los cuales se sometieron a RMC a 1.5T.

Por otro lado, en relación a los valores normales de referencia en el mapeo T2 nativo, el presente estudio se basó en el metaanálisis de Christopher A. Hanson et. al del año 2020<sup>9</sup>, realizado en equipos Siemens y Philips, el cual incluyó 42 estudios, 27 de estos realizados en resonadores de 1.5T. Para establecer los rangos de referencia, se analizaron los artículos que utilizaban la secuencia T2 prep y se seleccionó uno particularmente por su tamaño muestral de 73 voluntarios adultos sanos de 22-48 años sin ninguna enfermedad cardiovascular, a los cuales se les realizó la RMC en un resonador de 1.5T, donde se detalla una media de  $55 \pm 5$  ms<sup>10</sup>.

A raíz de esto la hipótesis de la investigación plantea lo siguiente: Los valores de T1 y T2 nativo obtenidos en adultos voluntarios sanos para el tejido miocárdico en el resonador GE SIGNA Artist de 1.5T se encuentran en el rango de 985 - 1065 ms para T1 MOLLI, 1110 - 1190 ms para T1 SASHA y 50 - 60 ms para T2, respectivamente, según detalla la literatura. El objetivo general fue determinar el tiempo T1 MOLLI, T1 SASHA y T2 nativo del tejido miocárdico en adultos voluntarios sanos en Resonancia Magnética Cardíaca de 1.5T. Para esto se plantean los siguientes objetivos específicos; demostrar qué tipo de distribución tienen los valores adquiridos, precisar el tiempo T1 y T2 en pacientes sanos y comparar con la literatura para establecer el rango propio del equipo.

## METODOLOGÍA

El presente trabajo es de tipo cuantitativo, no experimental, transversal, prospectivo y exploratorio, ya que se midió el tiempo de relajación del miocardio en voluntarios sanos por medio de la realización de RMC, variable que no fue manipulada ni controlada, la adquisición de datos se realizó en un intervalo de 3 meses, para determinar valores propios de referencia. En cuanto a las variables del estudio, las dependientes fueron el tiempo T1 y T2, y las independientes fueron la edad, sexo, y las secuencias MOLLI, SASHA y T2.

La población de estudio fueron voluntarios entre 18 - 63 años, recluidos por la técnica de muestreo por conveniencia. Para los criterios de inclusión se consideró a adultos sin patologías cardíacas que puedan seguir instrucciones, resultando de bajo riesgo en la encuesta cardiovascular. Se excluyeron a voluntarios portadores de dispositivos o elementos incompatibles con Resonancia Magnética clasificados de acuerdo a la lista de MRI safety<sup>11</sup> en elementos condicionales, inseguros y seguros; voluntarios que no mantienen la posición del examen; a aquellos con claustrofobia; los que tenían un alta por COVID menor a 90 días<sup>12</sup> y los inoculados contra este mismo virus en un plazo menor a 21 días, debido al riesgo de presentar miocarditis<sup>13</sup>.

La RMC se realizó a un total de 63 voluntarios sanos, de los cuales, 1 no se pudo finalizar producto de alteración de la frecuencia cardíaca. Durante el postproceso en 7 de ellos se presenciaron artefactos y, por último, en la revisión realizada por una radióloga especialista en tórax se evidenció un hallazgo incidental. De esta manera, la muestra final fue de 54 pacientes.

## Materiales

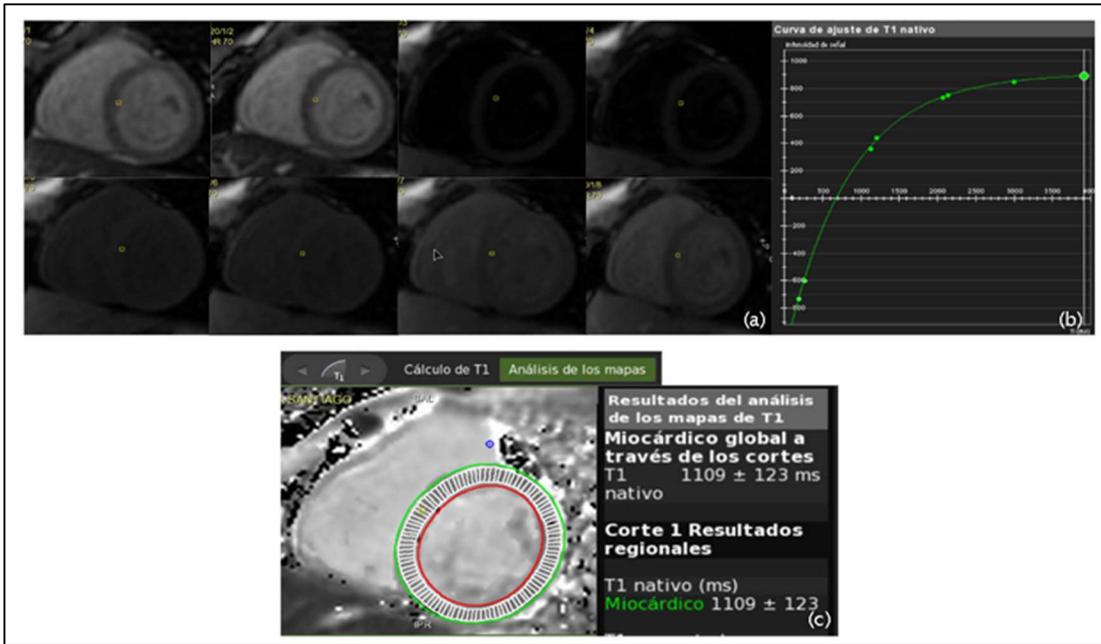
Los instrumentos utilizados para el desarrollo de la investigación fueron; Resonador Magnético SIGNA Artist 1.5T General Electric (GE) (Milwaukee, EEUU); Antena de 40 elementos (Posterior Array) integrada a la camilla del resonador; Antena de 16 elementos (Anterior Array); Electrodo (4 unidades por paciente), Plataforma AW Server 3.2 y Software Cvi42 (Calgary, Canadá).

## Adquisición de datos y postproceso

Se adquirieron las secuencias MOLLI, SASHA y T2 en eje corto SUBSET a 3 alturas; apical, medial y basal para la evaluación completa del miocardio. La medición de los tiempos T1 se realizó usando herramientas de contorno automático, tanto endocárdico como epicárdico, para cada corte en cada secuencia. El software mostraba los distintos tiempos de inversión con diferentes contrastes y se aplicó el contorno en cada una de las imágenes para generar una curva de intensidad. Luego, se creó el mapa, se realizó una reducción automática del 15% en ambos contornos para evitar la inclusión de grasa y sangre, y disminuir el riesgo de píxeles inválidos en la imagen. El valor del tiempo T1 era mostrado en su totalidad más la desviación estándar en ms (Figura 1).

Luego, para el proceso de la medición de T2, el equipo diferenciaba los distintos tiempos de eco con los diferentes contrastes en las imágenes. A diferencia de T1, el software acá mostraba los 3 cortes juntos. Se hizo nuevamente el contorno automático, la reducción del 15% para la creación del mapa y finalmente, mostraba la curva de intensidad, valores y desviación estándar correspondientes.





**Figura 1.** (a) Imágenes con los distintos tiempos de inversión (TI) adquiridas con la secuencia Modified Look-Locker inversion recovery (MOLLI) en un equipo de 1,5T (GE SIGNA ARTIST). (b) Curva de intensidad de señal entregada por el software Cvi42. (c) Mapa T1 y valor del ROI total del miocardio de 1109 ± 123.

### Análisis estadístico

Se utilizó el software GraphPad Prism, donde se obtuvo una media entre ROI total apical, medial y basal por voluntario para agrupar los datos y se evaluó la distribución de los datos con el Test de Kolmogorov – Smirnov, en base al tamaño muestral obtenido. Una vez demostrada la distribución normal por cada secuencia, se obtuvo la media final de todos los voluntarios y se comparó con la literatura.

### Consideraciones éticas

Este estudio fue aprobado por el Comité de Ética de la Facultad de Medicina UDD - Clínica Alemana de Santiago, según el número de aprobación PG\_116-2021. Además, todos los voluntarios registraron su expresión de voluntad mediante un consentimiento informado, manteniendo la confidencialidad de los datos.

### RESULTADO

La caracterización de los voluntarios se distribuyó desde los 18 a 63 años, siendo el grupo más joven (18 - 34 años) el que mayor participación tuvo (n=28). Hubo un predominio del género femenino de manera general. La media y desviación estándar de los tiempos de relajación obtenidas para cada secuencia se detalla en la Figura 2.

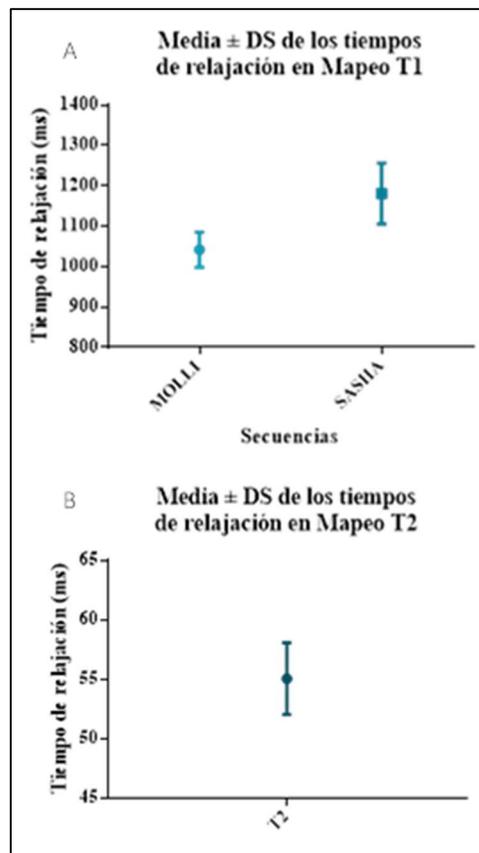
Por último, en la Tabla 1 se demuestra la media obtenida versus los valores mínimos y máximos normales de la literatura para las secuencias.

### DISCUSIÓN

#### Uso de valores de literatura como rango de referencia

Si bien se han hecho investigaciones sobre los tiempos T1 y T2 nativos del tejido miocárdico, es importante señalar que los valores que se obtuvieron, no son extrapolables al estudio actual.

Estos valores se usaron solo como rango de referencia de normalidad, esperando obtener tiempos similares. A pesar de estar dentro del rango, los resultados fueron distintos dadas las características propias de este estudio y que existe una variabilidad entre marcas y modelos una vez instalados los equipos.



**Figura 2.** Media de los tiempos de relajación para mapeo T1 (MOLLI y SASHA) (A) y mapeo T2 (B). Los valores normales para la secuencia MOLLI son 1042 ± 43, SASHA 1181 ± 75 y T2 55 ± 3.



**Tabla 1.** Tiempos de relajación T1 MOLLI, T1 SASHA y T2 obtenidos versus valores mínimos y máximos de la literatura

Tiempo de relajación (ms) de la literatura versus los obtenidos	Secuencia		
	MOLLI	SASHA	T2
Valores			
Mínimo en la literatura	985	1110	50
Obtenido	1042	1181	55
Máximo en la literatura	1065	1190	60

### Comparación entre secuencia MOLLI y SASHA

Se compararon las secuencias MOLLI y SASHA utilizadas para el mapeo T1, siendo SASHA la que tuvo tiempos más elevados. MOLLI ha sido la secuencia pionera, y hasta el momento la más utilizada y estudiada para la caracterización tisular de T1, sin embargo, la literatura detalla que subestima los valores de mapeo T1 debido a la transferencia de magnetización entre los diversos pulsos continuos y la influencia de T2<sup>14</sup>. Mientras que, SASHA, que es una técnica más actualizada, al utilizar un método de saturación de recuperación, cada latido tiene su propio pulso de saturación no habiendo influencia entre ellos, obteniendo así un valor más exacto, pero con la desventaja de tener menor relación señal-ruido. Otra variable importante, es el tiempo entre los pulsos de inversión en MOLLI, que afecta en la recuperación de la señal del vector. Esta superposición entre las inversiones puede generar sesgos en los valores de T1, sobre todo en pacientes con frecuencias cardíacas más elevadas, donde es posible que no se genere una recuperación completa entre pulsos<sup>14</sup>.

### Artefacto de volumen parcial

Para un correcto mapeo cada vóxel debiese estar compuesto por un solo tejido, lo que se traduce a que sea solo tejido miocárdico, y no sangre. Si esto no ocurre, se estaría hablando del artefacto de volumen parcial. A raíz de esto, se describe que la delimitación entre el miocardio y la cavidad intraventricular puede verse mal definida según el grosor de corte con el que fue obtenida la secuencia, razón por la cual, se debe tener presente esto en la delimitación endocárdica y epicárdica realizada por el software. Por recomendación de la marca, se restó un 15% al contorno epicárdico y endocárdico evitando así la presencia de este artefacto<sup>4</sup>.

### CONCLUSIÓN

El módulo de caracterización tisular correspondiente al mapeo T1 y T2 ha ido evolucionando y tomando protagonismo en la RMC. Los mapas T1 y T2 nativo tienen la posibilidad de introducir en la práctica clínica información valiosa y precisa. Gracias a este estudio, fue posible desarrollar habilidades para la realización de RMC y su análisis tanto cualitativo como cuantitativo.

Esta investigación permitió la determinación de los rangos de normalidad del tejido miocárdico en adultos

sanos para Clínica Alemana de Santiago, en el Resonador Magnético GE SIGNA Artist de 1.5T, siendo estos,  $1042 \pm 43$  para MOLLI,  $1181 \pm 75$  para SASHA y  $55 \pm 3$  para T2, valores que aportarán como herramienta complementaria a todas las técnicas utilizadas en RMC hasta el momento.

A lo largo de la investigación se encontraron algunas limitaciones. Una de ellas, fue el impacto de la pandemia por el COVID - 19, ya que muchos de los voluntarios que se ofrecieron a participar habían estado contagiados en un plazo menor al que se había estipulado. Además, como se mencionó en los criterios de exclusión, estudios anteriores demostraron que la vacuna contra este virus, podría provocar miocarditis. Estas condiciones afectaron la posibilidad de obtener un tamaño muestral mayor.

En los últimos años Siemens ha tomado un rol cada vez más preponderante en la RMC debido a su constante desarrollo en esta área. Después de una extensa búsqueda bibliográfica, se identificó que la mayoría de los estudios de mapeo miocárdico eran realizados por Siemens, algunos pocos por Philips y había un análisis insuficiente de estudios por parte de GE. Es por esto que se hace necesario ampliar las investigaciones en adultos sanos en GE dado que ésta podría tener rangos distintos, producto de las características propias de la marca.

Este método sigue evolucionando, por lo que es fundamental que las instituciones establezcan parámetros de secuencias y protocolos específicos para la coherencia de las mediciones, y que así, se pueda garantizar su reproducibilidad. Se debe estandarizar el protocolo de post procesamiento y se considera estrictamente necesario, la revisión de las imágenes por parte de radiólogos expertos en RMC para la identificación de posibles patologías.

Dado que los valores de normalidad para este equipo ya fueron determinados, se recomienda realizar una futura revisión haciendo una comparación por rangos etarios para ver si existe una diferencia entre adultos jóvenes y adultos mayores. Además, se podría contrastar las variaciones posiblemente existentes entre géneros femenino y masculino.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, Kim RJ, Nagel E; Society for Cardiovascular Magnetic Resonance Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. 2013 [citado el 8 de junio 2022];15(1):91. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1532-429x-15-91>
2. Valbuena S, Hinojar R, Puntmann V. Cardiovascular Magnetic Resonance in Cardiology Practice: A Concise Guide to Image Acquisition and Clinical Interpretation. *Rev Esp Cardiol (Engl Ed)* [Internet]. 2016 [citado el 8 de junio 2022];69(2):202-10. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.rec.2015.11.011>



3. Fernández J. Perspectivas en Resonancia Magnética Cardíaca - Mapa T1 y T2: Fundamentos y Utilidad Clínica. *Arq Bras Cardiol* [Internet]. 2015 [citado el 18 de julio 2022];28(3):175-84. Disponible en: [http://departamentos.cardiol.br/dic/publicacoes/revista-dic/revista/2015/espanhol/Revista03/09\\_artigo%20de%20revisao\\_79\\_esp.pdf](http://departamentos.cardiol.br/dic/publicacoes/revista-dic/revista/2015/espanhol/Revista03/09_artigo%20de%20revisao_79_esp.pdf)
4. Kellman P, Hansen MS. T1-mapping in the heart: accuracy and precision. *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. 2014 [citado el 18 de julio 2022];16(1):2. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1532-429x-16-2>
5. Robinson AA, Chow K, Salerno M. Myocardial T1 and ECV Measurement: Underlying Concepts and Technical Considerations. *JACC Cardiovasc Imaging* [Internet]. 2019 [citado el 8 de junio 2022];12(11, Part 2):2332-44. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jcmg.2019.06.031>
6. Gili J. Introducción biofísica a la resonancia magnética en neuroimagen V: 03-2 [Internet]. Barcelona; 2000 [citado el 8 de junio 2022]. 229 p. Disponible en: <https://www.vetcomunicaciones.com.ar/uploadsarchivos/libro.gili.pdf>
7. Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, Grosse-Wortmann L, He T, Kellman P, et al. Clinical recommendations for cardiovascular magnetic resonance mapping of T1, T2, T2\* and extracellular volume: A consensus statement by the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) endorsed by the European Association for Cardiovascular Imaging (EACVI). *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. 2017 [citado el 18 de julio 2022];19(1):75. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8>
8. Aherne E, Chow K, Carr J. Cardiac T1 mapping: Techniques and applications. *J Magn Reson Imaging* [Internet]. 2020 [citado el 18 de julio 2022];51(5):1336-56. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/jmri.26866>
9. Hanson CA, Kamath A, Gottbrecht M, Ibrahim S, Salerno M. T2 Relaxation Times at Cardiac MRI in Healthy Adults: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Radiology* [Internet]. 2020 [citado el 18 de julio 2022];297(2):344-51. Disponible en: <https://doi.org/10.1148/radiol.2020200989>
10. Wassmuth R, Prothmann M, Utz W, Dieringer M, Von Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Greiser A, et al. Variability and homogeneity of cardiovascular magnetic resonance myocardial T2-mapping in volunteers compared with patients with edema. *J Cardiovasc Magn Reson* [Internet]. 2013 [citado el 18 de julio 2022];15:27. Disponible en: <https://doi.org/10.1186/1532-429x-15-27>
11. MRI Safety. The LIST [Internet]. MRIsafety.com; 2022 [citado el 8 de junio 2022]. Disponible en: [https://www.mrisafety.com/TMDL\\_list.php](https://www.mrisafety.com/TMDL_list.php)
12. Llamas L. Secuelas a largo plazo de Covid-19. *Rev. Esp. Salud Pública* [Internet]. 2020 [citado el 8 de junio 2022];94(1):e1-e4. Disponible en: <https://medes.com/publication/158017>
13. Ministerio de Salud Chile. Esavi Serio: Miocarditis y/o Pericarditis [Internet]. Chile: Departamento de inmunizaciones. División de prevención y control de enfermedades. Subsecretaría de salud pública; 2021 [citado el 8 de junio 2022]. 9 p. Disponible en: <https://www.minsal.cl/wp-content/uploads/2021/08/ESAVI-serio-Miocarditis-Pericarditis.pdf>
14. Dastidar AG, Harries I, Pontecorboli G, Bruno VD, De Garate E, Moret C, et al. Native T1 mapping to detect extent of acute and chronic myocardial infarction: comparison with late gadolinium enhancement technique. *Int J Cardiovasc Imaging* [Internet]. 2019 [citado el 18 de julio 2022];35(3):517-27. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10554-018-1467-1>

