

# ***“Descifrando el mapa”***

## **Utilidad de las secuencias de mapeo paramétrico para la caracterización miocárdica en resonancia magnética cardíaca (RMC)**

**Carmen Mbongo Habimana<sup>1</sup>, Manuel Rafael López de la Torre Carretero<sup>1</sup>, Miguel Barrio Piqueras<sup>1</sup>, Pablo del Nido Recio<sup>1</sup>, César Urtasun Iriarte<sup>1</sup>, Gorka Bastarrika Alemañ<sup>1</sup>, Ana Ezponda Casajús<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Clínica Universidad de Navarra, Pamplona**



## OBJETIVOS DOCENTES



Describir los fundamentos del mapeo paramétrico en resonancia magnética cardíaca (RMC) y sus principales aplicaciones clínicas



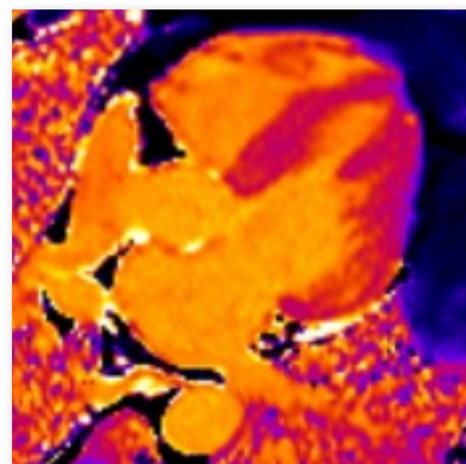
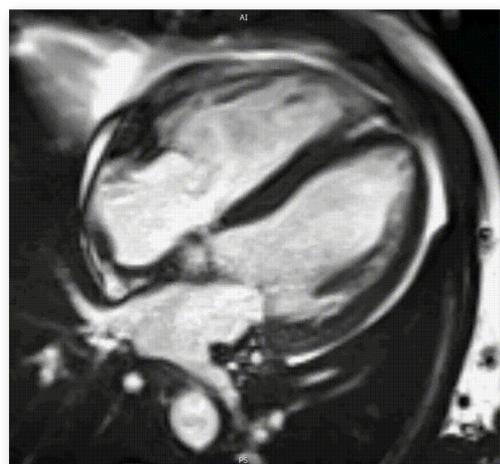
Ilustrar mediante casos didácticos el papel de las secuencias de mapeo T1 y T2 en la caracterización y evaluación de diferentes miocardiopatías

# REVISIÓN DEL TEMA

## INTRODUCCIÓN

El **miocardio** es un músculo especializado, con unas características anatómicas y fisiológicas específicas, que le permiten desarrollar su principal función, que es adaptar el gasto cardíaco a las necesidades del organismo. Para ello, la composición y características no sólo de los **cardiomiocitos**, sino también del **intersticio miocárdico**, desempeñan un papel clave en la función cardíaca.

La **resonancia magnética cardíaca (RMC)** es la técnica diagnóstica de elección no invasiva para la caracterización del tejido miocárdico. El creciente desarrollo de las **secuencias de mapeo paramétrico** ha favorecido la progresiva transición hacia una evaluación cuantitativa -más objetiva- de las propiedades específicas del tejido miocárdico y de sus potenciales alteraciones. Entre ellas se incluyen la expansión del volumen extracelular (VEC), el edema miocárdico y otras anomalías de la composición tisular como la fibrosis miocárdica difusa.



# REVISIÓN DEL TEMA

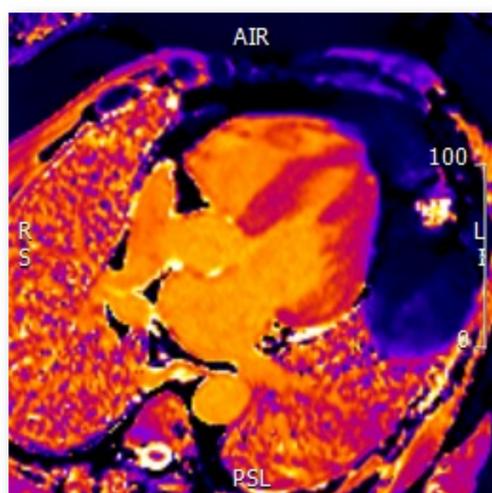
## INTRODUCCIÓN

Los mapas paramétricos son un tipo de secuencias cuantitativas en RMC que trasladan a una imagen en color los tiempos de relajación T1/T2/T2\* intrínsecos del tejido miocárdico, permitiendo su caracterización tisular. Estos tiempos o valores miden la velocidad de recuperación (relajación longitudinal o transversal) de los protones tras ser excitados en un pulso de radiofrecuencia y son característicos de cada tejido. Alteraciones en sus valores numéricos reflejan situaciones de patología.

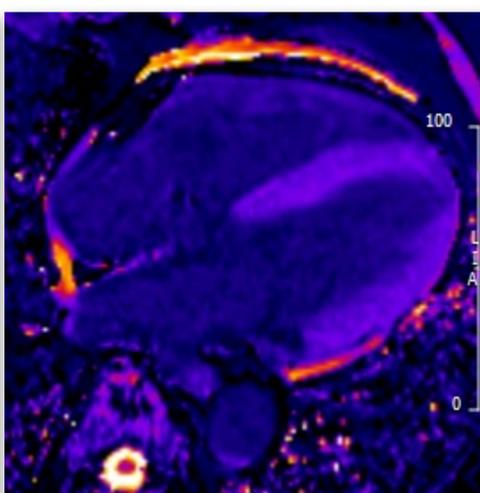
Los valores absolutos de los mapas T1/T2/T2\* resultan especialmente útiles en la detección de alteraciones difusas del miocardio (edema intersticial, fibrosis, enfermedades por depósito), particularmente cuando el resto del estudio de RMC no presenta alteraciones reseñables.

El presente trabajo pretende ilustrar algunas de estas aplicaciones.

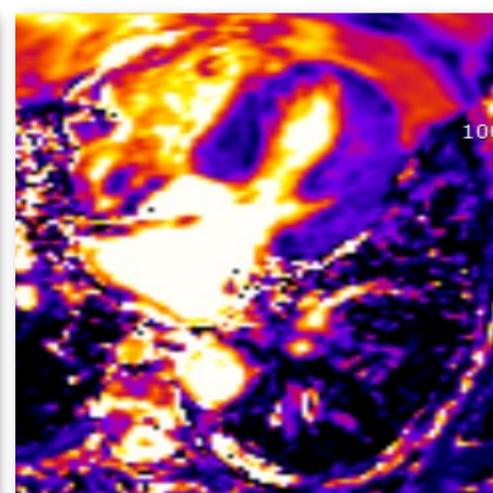
**MAPA T1**



**MAPA T1 POST**



**MAPA T2**



# ASPECTOS TÉCNICOS - PROTOCOLO DE ADQUISICIÓN



Secuencia adquirida en una sola apnea

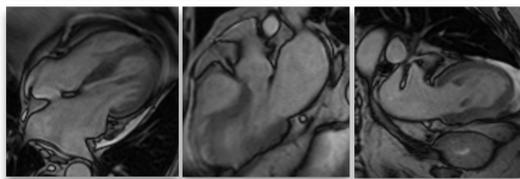


Registro ECG: adquisición en misma fase del ciclo



Número de cortes en función de si se quiere valorar enfermedad miocárdica focal o difusa

SECUENCIAS CINE (SSFP)

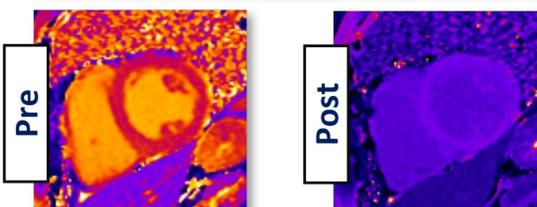


EJES LARGOS



EJES CORTOS

MAPAS PARAMÉTRICOS T1

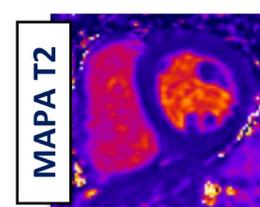


Pre

Post

$$VEC = (1 - \text{hematocrito}) \cdot \frac{\left( \frac{1}{t1 \text{ myopost}} - \frac{1}{t1 \text{ myopre}} \right)}{\left( \frac{1}{t1 \text{ bloodpost}} - \frac{1}{t1 \text{ bloodpre}} \right)}$$

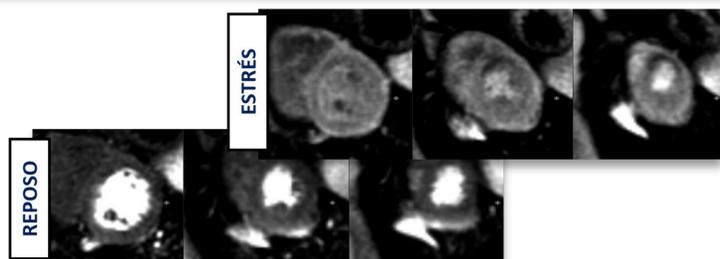
SECUENCIAS POTENCIADAS EN T2



MAPA T2



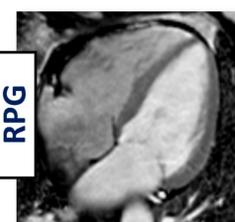
STIR



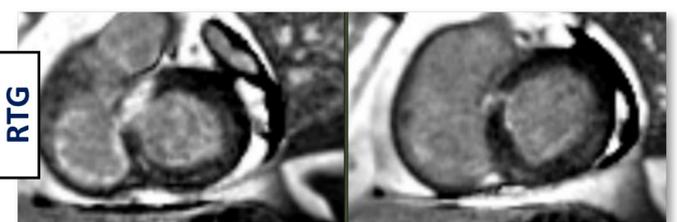
REPOSO

ESTRÉS

PERFUSIÓN DE ESTRÉS



RPG

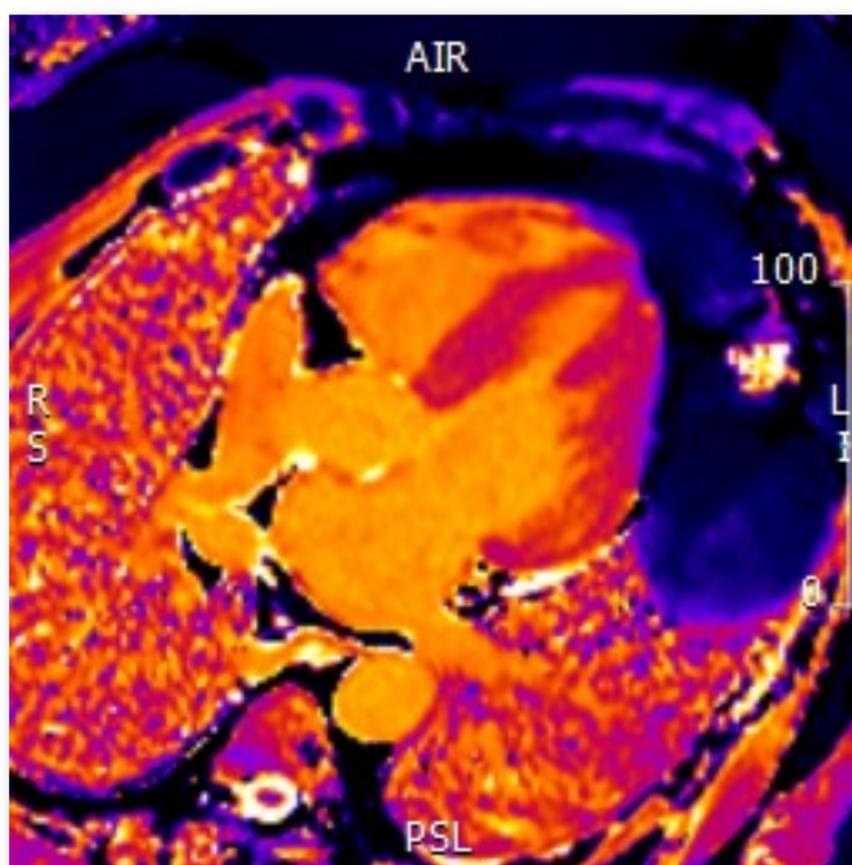


RTG

REALCE DE GADOLINIO (PRECOZ Y TARDÍO)

# CLAVES PARA UNA ADECUADA INTERPRETACIÓN

## MAPA T1



Intensidad del campo magnético (mayor a más Tesla)

Factores del paciente (frecuencia cardíaca, edad, sexo)

Factores de la secuencia (tipo, fase del ciclo cardíaco)

Método de post-procesado (trazado de los ROIs)

Factores de la imagen (plano, segmento, movimiento)

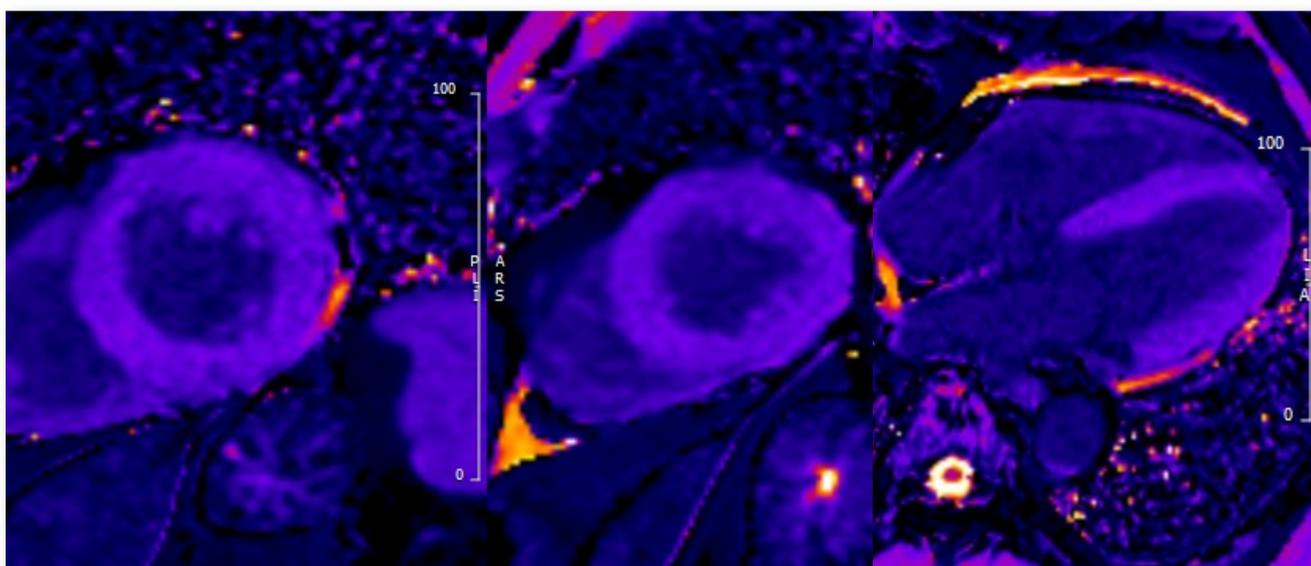
## CLAVES PARA UNA ADECUADA INTERPRETACIÓN

### MAPA T1 POST-CONTRASTE

El valor T1 post-contraste viene determinado por el hecho de que el **gadolinio** es un agente de distribución exclusivamente extracelular, acortando el tiempo de relajación T1. Por este motivo, en los mapas T1 post-contraste las zonas donde se acumula el gadolinio (por acceso al espacio extracelular o por expansión del espacio intersticial) mostrarán un T1 más corto que el miocardio normal. Esto ocurre en áreas de **fibrosis focal o difusa**, así como en zonas de **edema miocárdico**.

El valor T1 post-contraste presenta algunas limitaciones. Por este motivo, el cálculo del **VEC** para la valoración cuantitativa del espacio intersticial resulta de gran utilidad, únicamente condicionado por el hematocrito. Se le considera un marcador de **fibrosis intersticial**, por su correlación con el contenido de colágeno.

En condiciones normales el VEC constituye en torno a un **25%** del volumen del miocardio



#### CAUSAS DE AUMENTO DEL VALOR T1 POST-CONTRASTE

- ✓ Situaciones de aumento de la fibrosis miocárdica difusa
- ✓ Situaciones de aumento del edema miocárdico (miocarditis) o depósito de amiloide (amiloidosis)

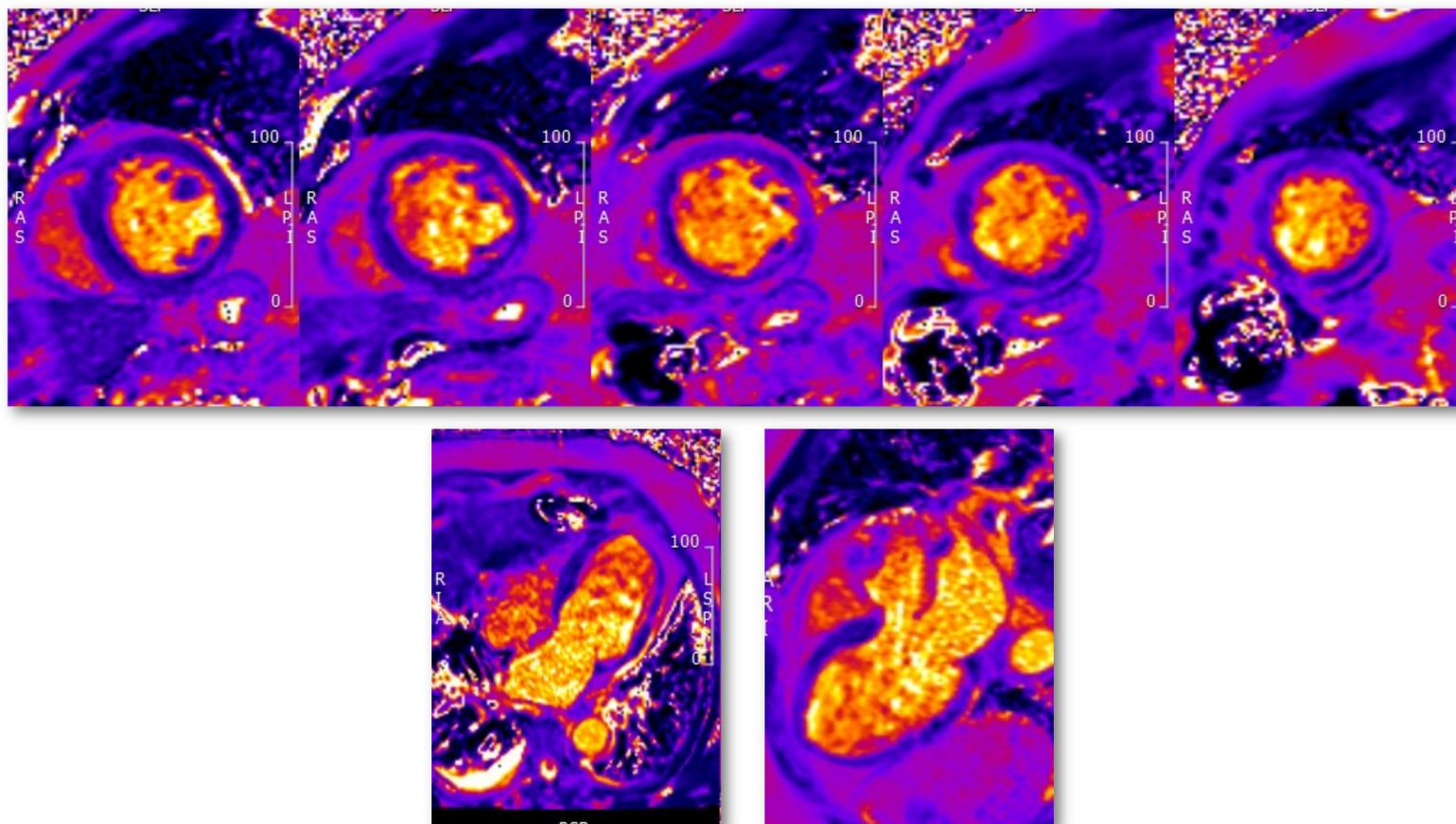
## CLAVES PARA UNA ADECUADA INTERPRETACIÓN

### MAPA T2

El valor T2 se encuentra elevado en situaciones que cursan con incremento del agua libre en el miocardio (**edema miocárdico**), que por lo general traduce procesos inflamatorios de respuesta a una **lesión tisular aguda**.

La etiología puede ser diversa, incluyendo la **cardiopatía isquémica**, la **miocarditis**, y la **miocardiopatía de estrés** de diferentes causas.

En condiciones normales el tiempo T2 a 1,5T oscila entre 50-60 ms.



### LIMITACIONES DEL MAPEO T2

- ✓ Diferencias pequeñas en los valores obtenidos en el miocardio sano respecto del enfermo
- ✓ Muy dependiente de la frecuencia cardíaca: la taquicardia hace que disminuya el valor T2
- ✓ Secuencia sensible a artefactos y a modificaciones en los parámetros técnicos de la adquisición

## APLICACIONES CLÍNICAS

Aunque los cambios en los valores absolutos nativos T1 y T2 no son “enfermedad-específicos”, indican alteración en la composición del tejido miocárdico y por lo tanto proporcionan información valiosa -diagnóstica y pronóstica- en contextos clínicos determinados

**1 SÍNDROME CORONARIO AGUDO CON ENFERMEDAD CORONARIA OBSTRUCTIVA**

**TpNOCA**

**2 ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS**

**3 MIOCARDIOPATÍAS INFILTRATIVAS**

**4 FIBROSIS GLOBAL DIFUSA – MIOCARDIOPATÍA HIPERTRÓFICA**

**5 MASAS CARDÍACAS**

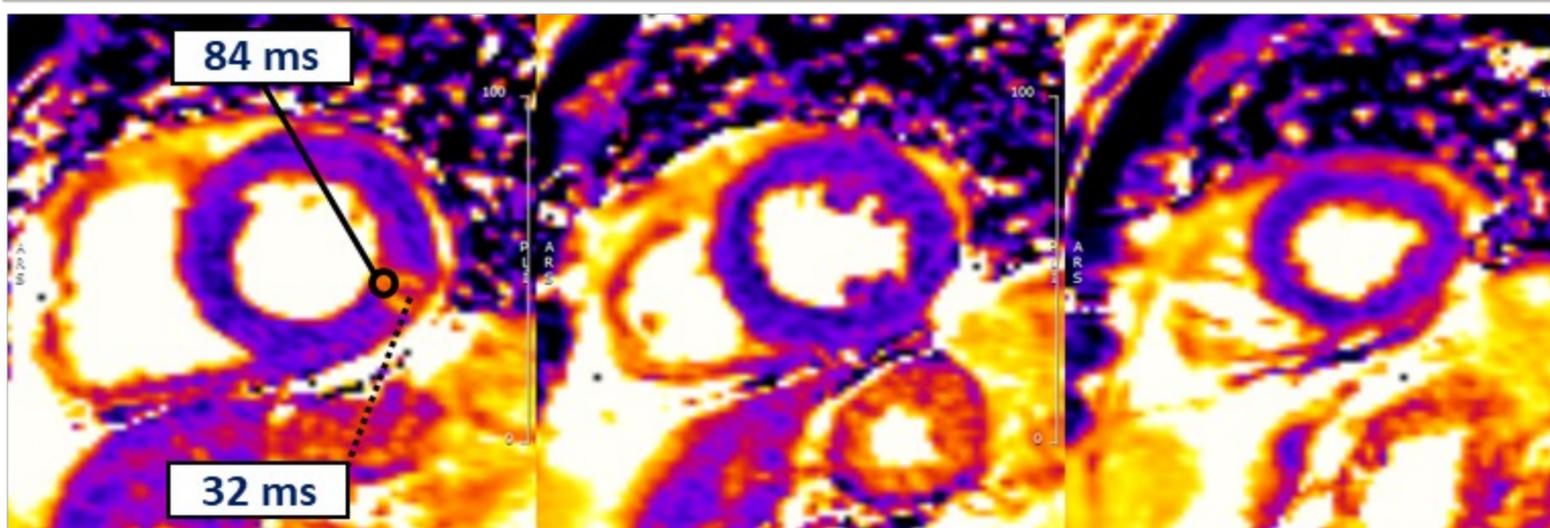


1

## SÍNDROME CORONARIO AGUDO CON ENFERMEDAD CORONARIA OBSTRUCTIVA

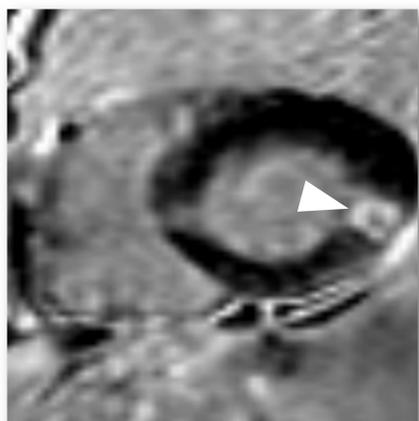
CASO. Varón de 66 años con múltiples FRCV con dolor retroesternal de dos semanas de evolución tras reperfusión de SCASEST inferolateral. Se solicita RMC

MAPA T2

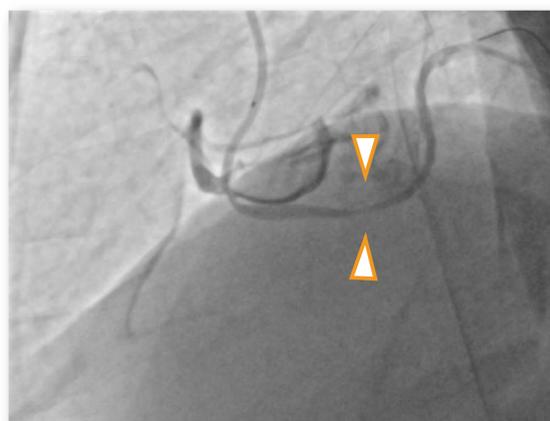


Se observa elevación de los valores T2 (~80 ms) compatible con **edema miocárdico** en el segmento inferolateral basal. El edema muestra distribución **transmural** (>50% del espesor miocárdico). Se identifica un área central con valores T2 disminuidos, sugestiva de **obstrucción microvascular**

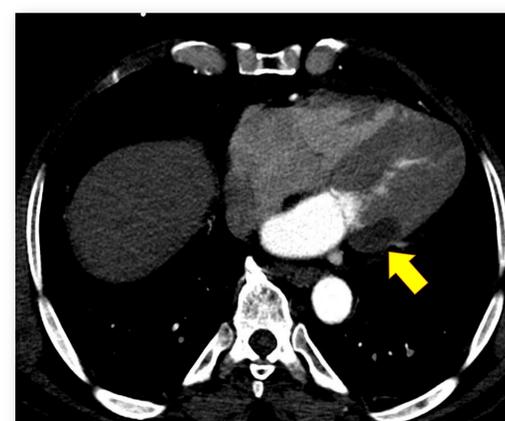
REALCE TARDÍO (EC)



CORONARIOGRAFÍA INVASIVA



TC CARDÍACA



- ✓ La secuencia de **realce tardío de gadolinio** confirma **infarto agudo inferolateral basal**
- ✓ Foco **hipointenso** en el espesor del área de infarto, compatible con **obstrucción microvascular**
- ✓ La angiografía coronaria muestra **estenosis severa** del tercio medio de la arteria circunfleja
- ✓ El estudio de TC cardíaco muestra un **área de menor atenuación** en la región del infarto

1

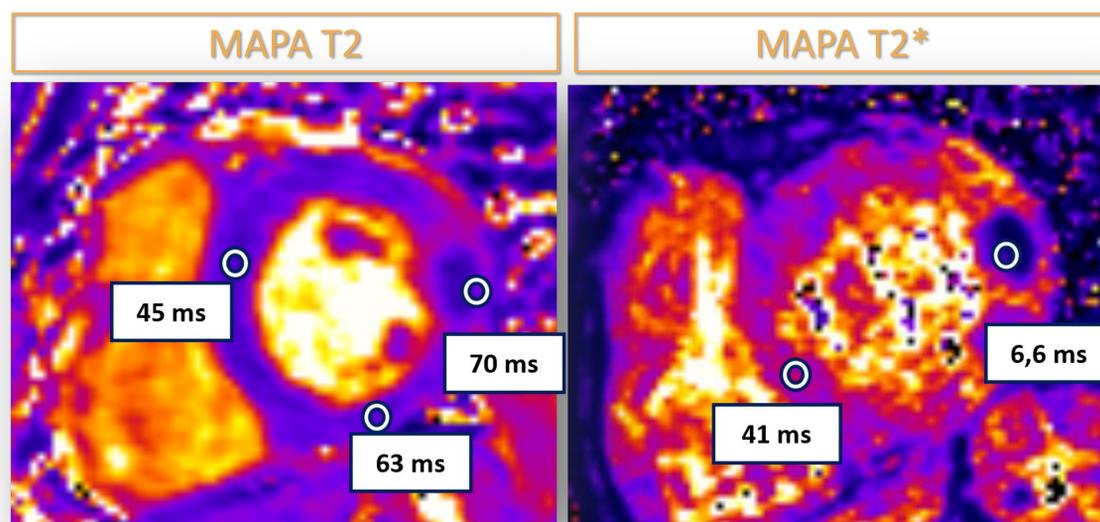
## SÍNDROME CORONARIO AGUDO CON ENFERMEDAD CORONARIA OBSTRUCTIVA

Se puede detectar hemorragia intramiocárdica por obstrucción microvascular en el core del área infartada, observando disminución de los valores T1/T2

✓ El T1 nativo es más sensible en la detección del infarto agudo

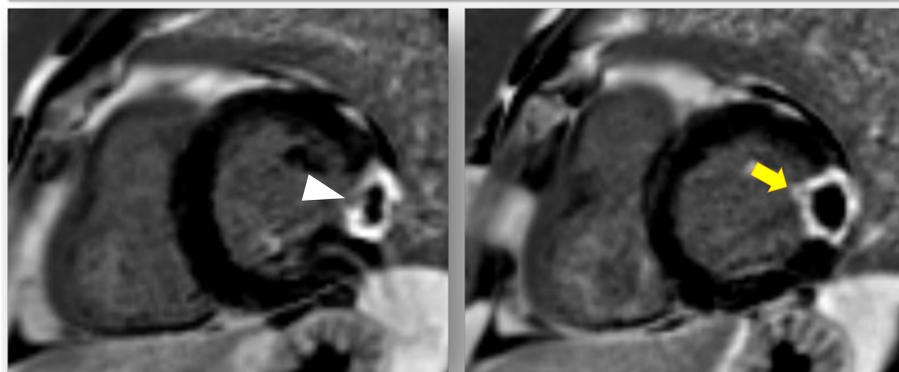
✓ El T1 post-contraste es más sensible en la identificación del infarto crónico

CASO. Varón de 62 años que despierta con dolor centrotorácico opresivo irradiado a cuello que se resuelve al cabo de 30 min. ECG y ecocardiograma sin alteraciones. Se solicita RMC

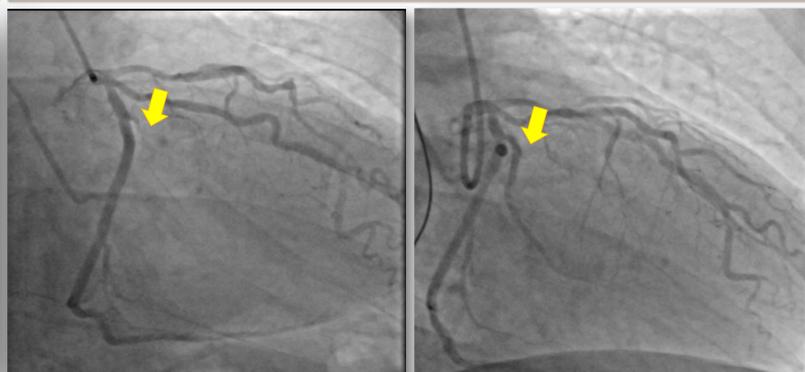


Se observa elevación de los valores T2 (~70 ms) compatible con edema miocárdico en segmentos anterolateral e inferolateral basal. En el interior del área infartada se observa un foco con marcada caída de señal en secuencias T2\* compatible con obstrucción microvascular con hemorragia intramiocárdica

### REALCE TARDÍO DE GADOLINIO (RTG)



### ANGIOGRAFÍA CORONARIA INVASIVA



✓ Se observa realce tardío de gadolinio subendocárdico transmural compatible infarto agudo de miocardio

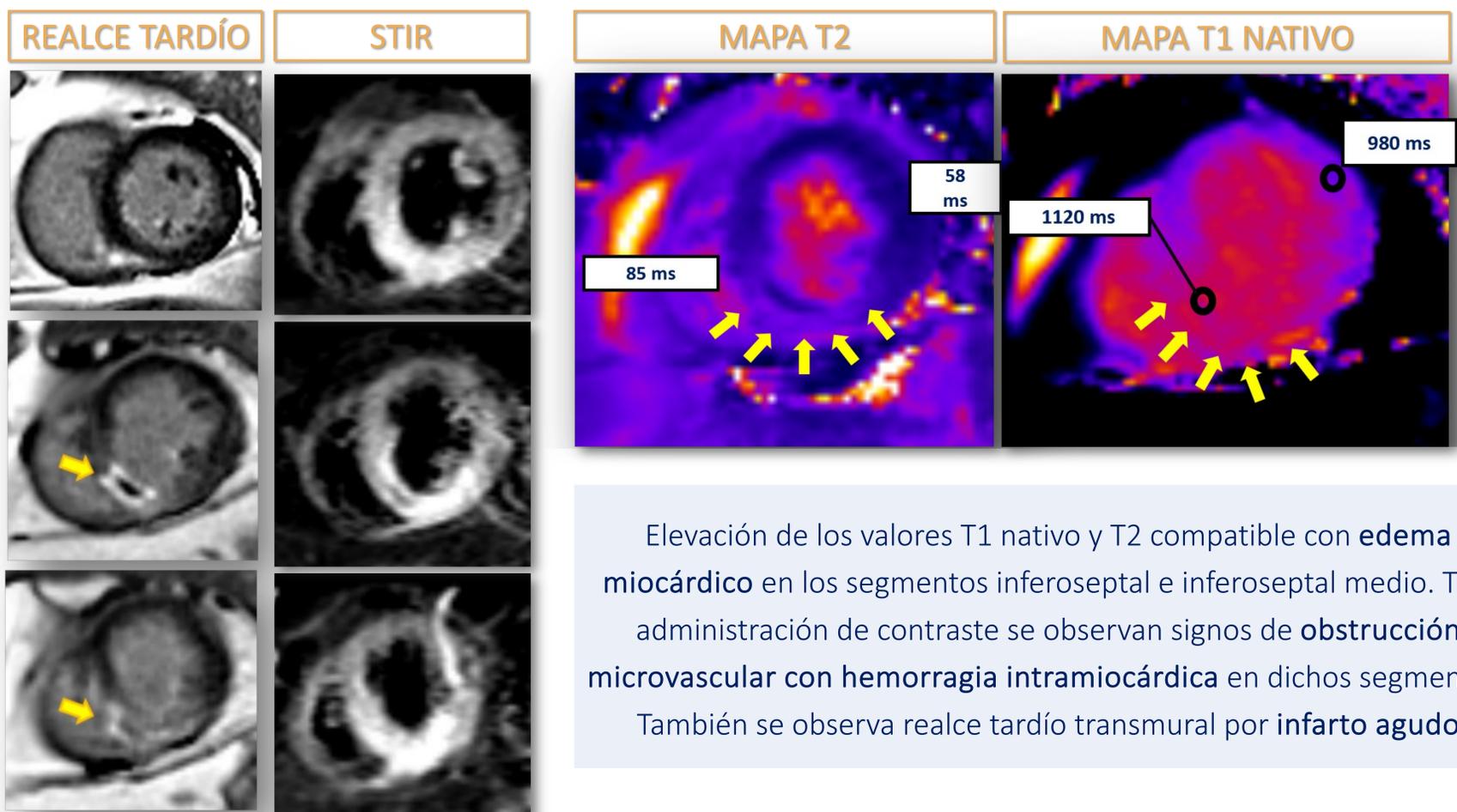
✓ La angiografía coronaria muestra oclusión de la primera obtusa marginal (cx) que se reperfunde

## 2 ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

El acrónimo tpNOCA hace referencia a tres entidades (MINOCA, MINOCA *mimics*, patología extracardíaca) que se pueden manifestar clínicamente como un **síndrome coronario agudo**, definidas por la elevación de biomarcadores de daño miocárdico y ausencia de obstrucción coronaria en angiografía invasiva

CASO. Varón de 82 años con tabaquismo, hipertensión, diabetes e hiperuricemia como FRCV. Acude a urgencias por dolor centrotorácico opresivo. La analítica muestra proBNP de 1063 pg/mL, cTp de 18-30 (valores normales <14 ng/L). La coronariografía invasiva descarta lesiones. Se solicita RMC

MINOCA



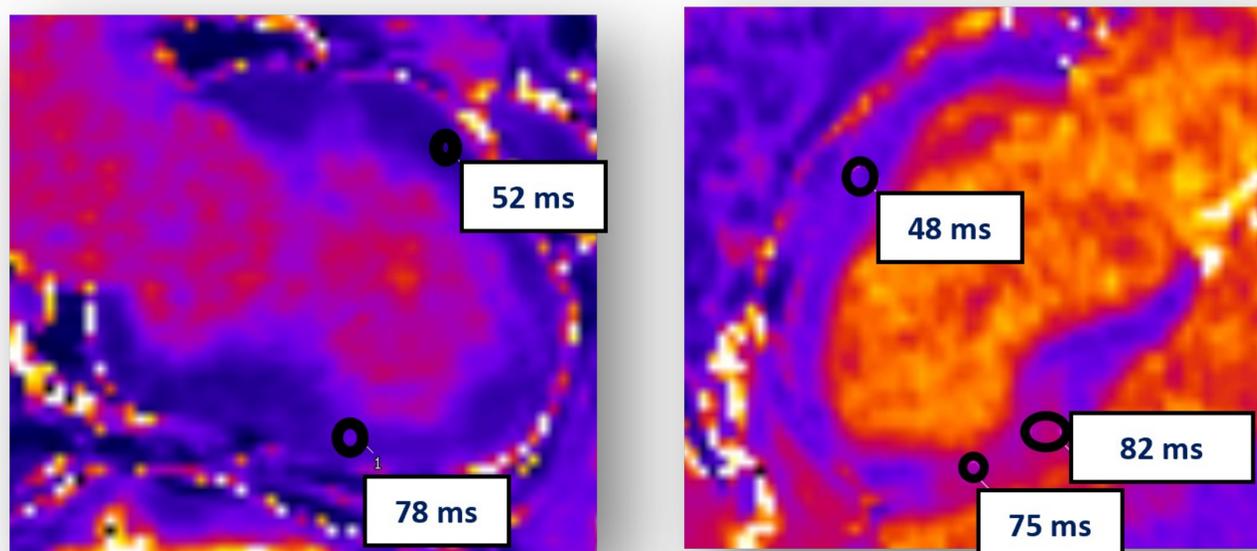
✓ También se objetivó realce mesocárdico parcheado en segmentos basales secundario a **fibrosis miocárdica**, en el contexto de **hipertrofia ventricular izquierda** apreciada en las secuencias CINE

✓ El registro ECG obtenido durante la realización de la prueba evidenció **fibrilación auricular**, no conocida. El paciente fue diagnosticado de **síndrome coronario agudo de probable etiología embólica** en el contexto de **fibrilación auricular permanente**

## 2 ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

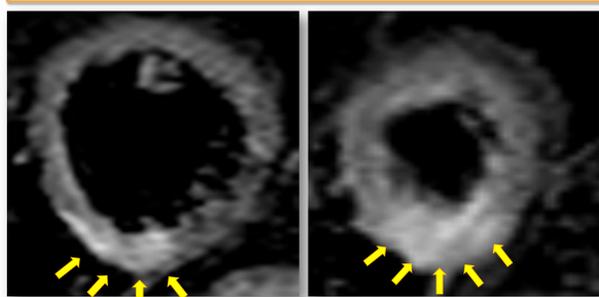
CASO. Mujer de 55 años exfumadora y con hipertensión arterial como principales FRCV. Estando en reposo presenta de forma súbita un dolor centrotorácico opresivo, irradiado a espalda con resolución espontánea. ECG muestra ondas T negativas en cara inferior y lateral. La angiografía coronaria descarta lesiones significativas. El test de metilergonovina es negativo. Se solicita RMC

MAPA T2

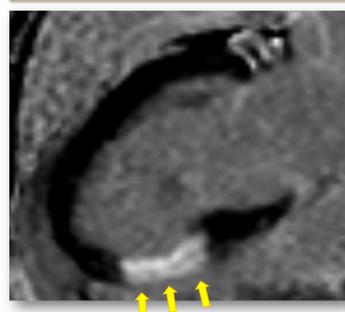


Elevación de los valores T2 (en torno a 80 ms) en relación con edema miocárdico en el segmento inferoseptal basal

STIR



REALCE TARDÍO



ANGIOGRAFÍA CORONARIA



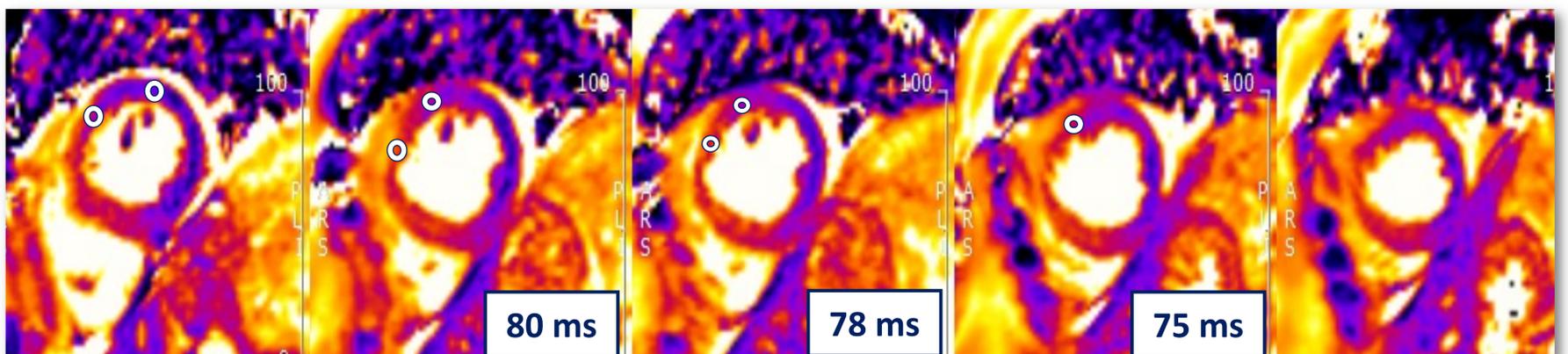
✓ Realce tardío de miocardio transmural (>50% del espesor miocárdico) compatible con infarto agudo

✓ No se observan estenosis o interrupciones al flujo de contraste en la angiografía coronaria realizada

## 2 ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

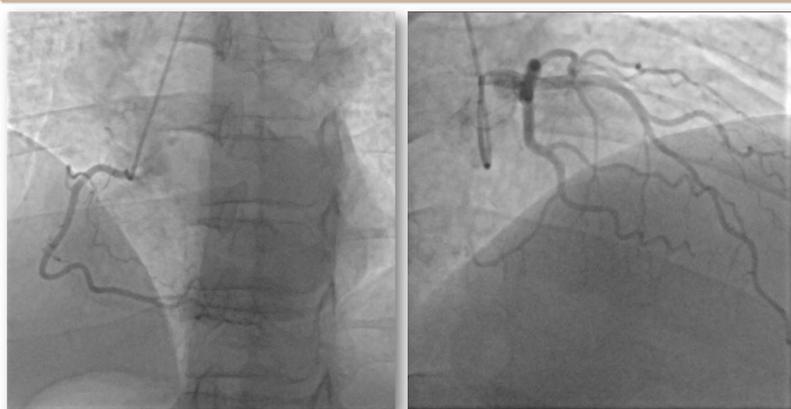
CASO. Mujer de 83 años ingresada en planta de hospitalización por elevación de biomarcadores de necrosis miocárdica y dolor torácico en el contexto de ejercicio físico (baño en el mar). cTP de hasta 2700 ng/L. Ecocardiograma muestra hipoquinesia severa en segmentos septal basal y septal apical. La angiografía coronaria descarta lesiones significativas. Se realiza RMC ante la sospecha de miocardiopatía de estrés

MAPA T2

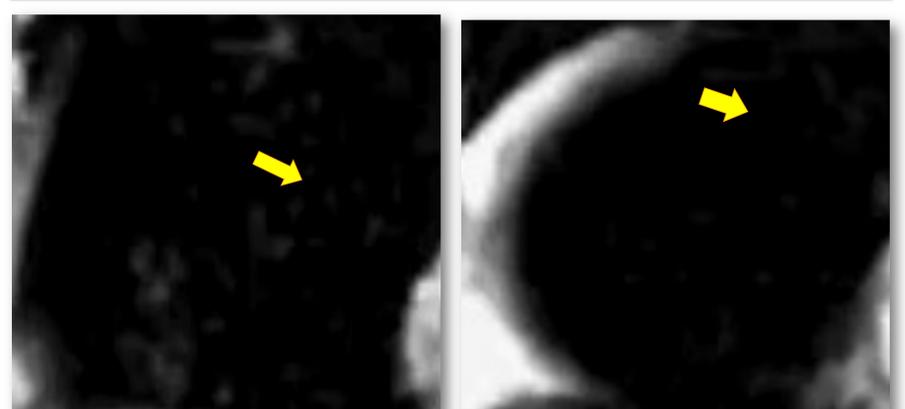


Elevación de los valores T2 (~80 ms) en el territorio de la descendente anterior, compatible con edema miocárdico

ANGIOGRAFÍA CORONARIA



PERFUSIÓN DE ESTRÉS CON ADENOSINA



- ✓ El cateterismo cardíaco con angiografía coronaria selectiva descarta la existencia de lesiones significativas
- ✓ Tras administración de adenosina, el estudio de estrés es positivo para isquemia en territorio de la DA
- ✓ La paciente fue diagnosticada de isquemia miocárdica inducida por vasoespasma coronario de la DA

TpNOCA

2

## ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

El acrónimo tpNOCA hace referencia a tres entidades: MINOCA, MINOCA *mimics*, patología extracardíaca. Entre las patologías imitadoras podemos encontrar la miocarditis aguda y el síndrome de Tako-Tsubo.

### MIOCARDITIS AGUDA

Frecuentemente causada por infecciones víricas que generan **constricción microvascular coronaria intensa** secundaria a daño endotelial e inflamación

En la RMC pueden verse alteraciones de la contractilidad miocárdica, elevación de los valores paramétricos en los mapas T1 y T2 y, típicamente, **realce tardío de gadolinio subepicárdico o intramiocárdico**

**CASO.** Varón de 26 años con dolor retroesternal agudo, atendido en el Servicio de Urgencias unos días antes por un cuadro de faringitis viral. La analítica muestra **cTp: 88** (valores normales <14 ng/L); **CPK: 304** (valor normal <200). Ante la sospecha clínica de miocarditis, se solicita RMC



✓ Leve derrame pericárdico evidenciado en secuencias CINE (SSFP)

✓ Alteraciones de la contractilidad miocárdica del ventrículo izquierdo

✓ Realce de gadolinio parcheado de **distribución subepicárdica** en la pared lateral del ventrículo izquierdo

✓ Aumento de los tiempos en mapa T2 e hiperseñal en T2 STIR compatible con **edema miocárdico**

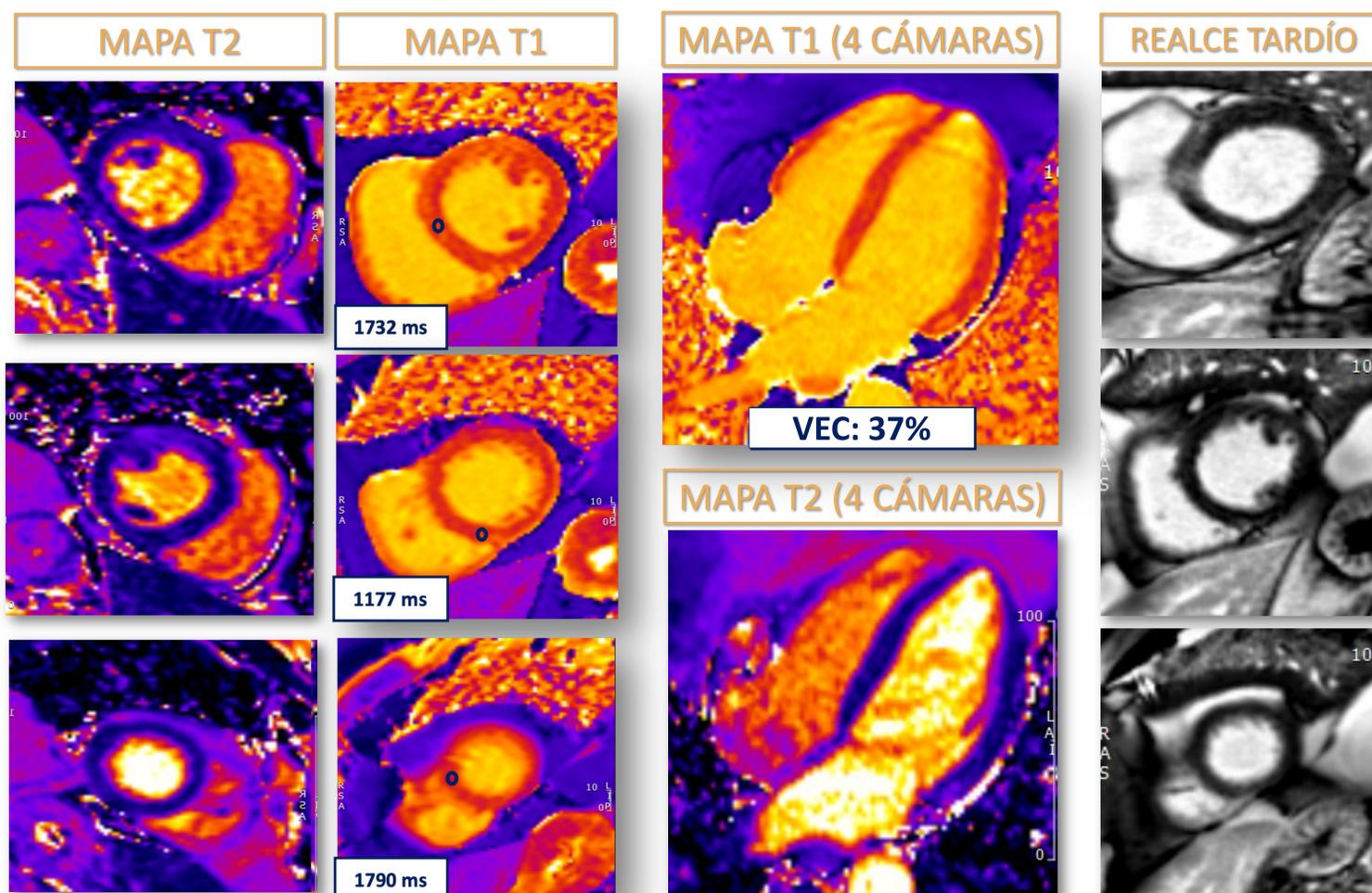
2

## ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

### MIOCARDITIS AGUDA

CASO. Varón de 72 años con diagnóstico de leucemia mieloide aguda en tratamiento dentro de ensayo clínico con Azacitidina & Inhibidor Bcl-2. Ingresado por dolor torácico atípico con movilización de enzimas de daño miocárdico. cTp: 130 ng/L (valores normales <14 ng/L). El ecocardiograma descarta anomalías de la contractilidad segmentaria u otras alteraciones destacables.

MIOCARDITIS



- ✓ Aumento difuso de los valores T1 afectando a todos los segmentos miocárdicos
- ✓ Los valores T2 son normales, sin evidencia de edema miocárdico focal ni difuso
- ✓ Los hallazgos son compatibles con aumento del espacio extracelular (VEC: 37%)
- ✓ La secuencia de relace tardío de gadolinio descarta áreas de fibrosis/necrosis
- ✓ Los datos sugieren toxicidad miocárdica secundaria a tratamientos



TpNOCA

2

## ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

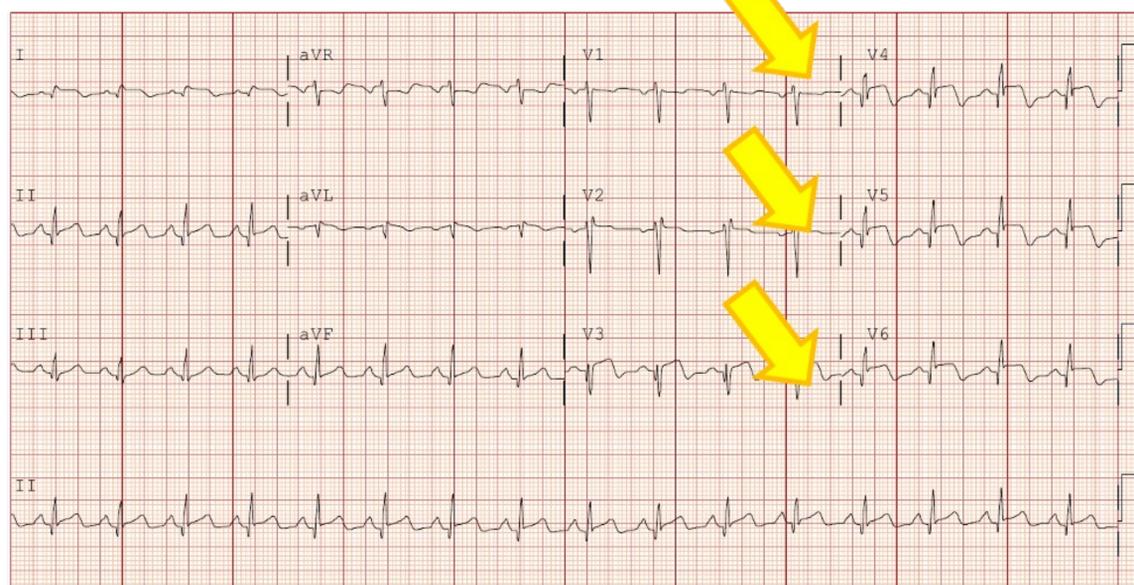
El acrónimo **tpNOCA** hace referencia a tres entidades: MINOCA, MINOCA *mimics*, patología extracardíaca. Entre las patologías imitadoras podemos encontrar la miocarditis aguda y el síndrome de Tako-Tsubo.

### MIOCARDIOPATÍA DE ESTRÉS

Asocia como desencadenantes experiencias emocionales o físicas intensas, en ausencia de obstrucción coronaria. Se trata de una forma aguda de fallo sistólico que manifiesta **hipo/aquinesia apical con hiperquinesia basal compensadora**.

Los mapas paramétricos muestran **signos de edema miocárdico transmural** y las secuencias tras gadolinio no suelen mostrar focos de realce tardío, lo cual apoya el diagnóstico de esta entidad.

**CASO.** Mujer de 61 años, sin antecedentes personales de interés, acude a Urgencias tras episodio de síncope agudo mientras cocinaba. La analítica revela una **troponina T** de 2.753 ng/L (VN <14) y un **pro-BNP** de 7.987 pg/mL (VN <300). Dada la sospecha de SCACEST, se administró tratamiento según protocolo. Se realizó coronariografía urgente, que descartó lesiones coronarias significativas.



✓ ECG realizado tras estabilización hemodinámica inicial muestra elevación del ST en territorio anterolateral

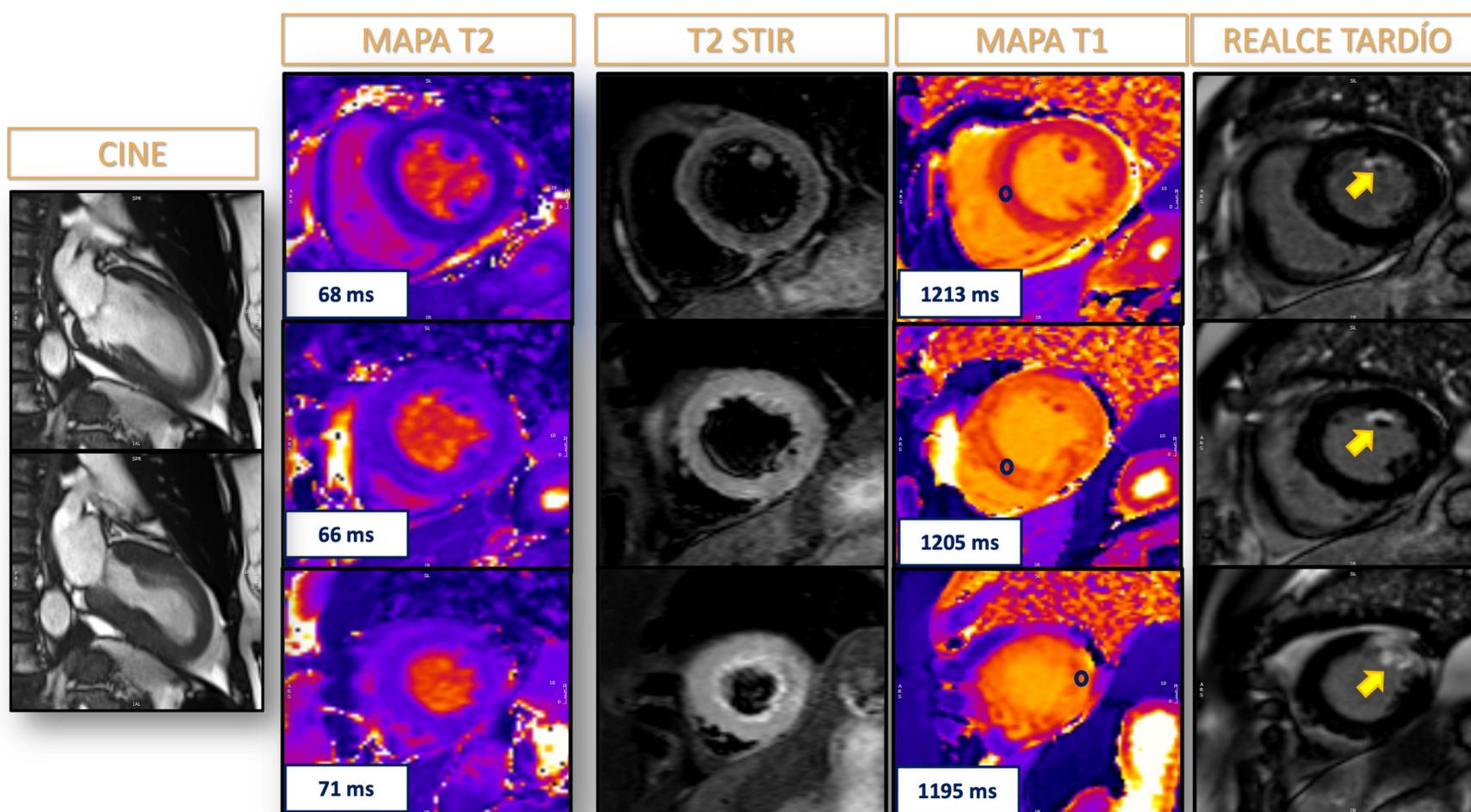


TpNOCA

2

## ENFERMEDAD CORONARIA NO OBSTRUCTIVA CON ELEVACIÓN DE TROPONINAS

MIOCARDIOPATÍA DE ESTRÉS



✓ ECG realizado tras estabilización hemodinámica inicial muestra elevación del ST en territorio anterolateral



**37** Congreso  
Nacional  
CENTRO DE  
CONVENCIONES  
INTERNACIONALES

Barcelona  
22/25  
MAYO 2024

**seram**  
Sociedad Española de Radiología Médica

**FERM**  
FUNDACIÓN ESPAÑOLA DE RADIOLOGÍA MÉDICA

**RC** | RADIOLEGS  
DE CATALUNYA

3

## MIOCARDIOPATÍAS INFILTRATIVAS



Clínica  
Universidad  
de Navarra

## CONCLUSIONES



Las secuencias de mapeo paramétrico T1 y T2 aumentan la sensibilidad diagnóstica de la RMC, al permitir una **estimación cuantitativa de las alteraciones del tejido miocárdico**, tanto focales como difusas



Además, constituyen una **técnica de imagen rápida** que supera muchas de las limitaciones a las secuencias de RMC más tradicionales, eliminando en muchos casos la necesidad de administrar contraste paramagnético



Puesto que las alteraciones en los tiempos de relajación del miocardio no son específicos de entidades patológicas concretas, es necesario interpretarlas **junto con las secuencias clásicas** y siempre en el **contexto clínico del paciente**



Los cambios en los valores T1/T2 en las secuencias de mapeo paramétrico se perfilan en la actualidad como marcadores robustos para el **diagnóstico y pronóstico** de las distintas enfermedades del miocardio, así como para su **monitorización terapéutica**



## BIBLIOGRAFÍA

[1] R.J. Perea Palazón, J.T. Ortiz Pérez, S. Prat González, T.M. de Caralt Robira, M.T. Cibeira López, M. Solé Arqués. **Parametric techniques for characterizing myocardial tissue by magnetic resonance imaging (part 1): T1 mapping.** Radiología (English Edition), Volume 58, Issue 3, May–June 2016, Pages 164-177. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2015.12.007>

[2] R.J. Perea Palazón, M. Solé Arqués, S. Prat González, T.M. de Caralt Robira, M.T. Cibeira López, J.T. Ortiz Pérez. **Parametric methods for characterizing myocardial tissue by magnetic resonance imaging (part 2): T2 mapping.** Radiología (English Edition), Volume 57, Issue 6, November–December 2015, pages 471-479. <https://doi.org/10.1016/j.rx.2015.05.002>

[3] Messroghli DR, Moon JC, Ferreira VM, Grosse-Wortmann L, He T, Kellman P, Mascherbauer J, Nezafat R, Salerno M, Schelbert EB, Taylor AJ, Thompson R, Ugander M, van Heeswijk RB, Friedrich MG. **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. 2017 Oct 9;19(1):75. Erratum in: J Cardiovasc Magn Reson. 2018 Feb 7;20(1):9. <https://doi.org/10.1186/s12968-017-0389-8>

[4] Sanz J, LaRocca G, Mirelis JG. **Myocardial Mapping With Cardiac Magnetic Resonance: The Diagnostic Value of Novel Sequences.** Rev Esp Cardiol (Engl Ed). 2016 Sep;69(9):849-61. English, Spanish. <https://doi.org/10.1016/j.rec.2016.04.045>

