

## Artículo especial

# Primera resonancia magnética gestionada por cardiología en la red sanitaria pública española: experiencia y dificultades de un modelo innovador



Manuel Barreiro-Pérez, Elena Tundidor-Sanz, Ana Martín-García, Elena Díaz-Peláez, Alberto Íscar-Galán, Soraya Merchán-Gómez, María Gallego-Delgado, Javier Jiménez-Candil, Ignacio Cruz-González y Pedro L. Sánchez\*

Servicio de Cardiología, Hospital Universitario de Salamanca, Instituto de Investigación Biomédica de Salamanca (IBSAL), Facultad de Medicina, Universidad de Salamanca, Centro de Investigación Biomédica en Red de Enfermedades Cardiovasculares (CIBERCV), Salamanca, España

Historia del artículo:

On-line el 24 de febrero de 2018

Palabras clave:

Resonancia magnética

Gestión clínica

Cardiología

## RESUMEN

La resonancia magnética (RM) es la técnica considerada de referencia para evaluar la morfología, función, perfusión y viabilidad miocárdica, y su principal limitación es su escasa disponibilidad. En 2014 se implantó la primera RM gestionada por un servicio de cardiología de un hospital de la red sanitaria pública española con el objetivo de mejorar el proceso asistencial, formativo e investigador del servicio. En el periodo analizado, desde julio de 2014 a mayo de 2017, se realizaron 3.422 RM cardíacas (32 min/ estudio, el 96% de buena calidad, el 75% con medio contraste). Las miocardiopatías (29%) y la cardiopatía isquémica (12%) fueron las indicaciones asistenciales más frecuentes. El 25% de los estudios correspondieron a protocolos de investigación. En los pacientes ambulatorios, predominaron los estudios de seguimiento, y en los ingresados, las valoraciones previas a intervención terapéutica. En el campo de la cardiopatía isquémica, la RM cardíaca modificó el diagnóstico de sospecha de hasta el 20% de los pacientes. La instalación y gestión del equipo de RM en un servicio de cardiología ha permitido integrar esta técnica en el día a día de los profesionales, modificar los protocolos asistenciales, optimizar la accesibilidad de esta tecnología para los pacientes cardiológicos, mejorar la formación y desarrollar la investigación.

© 2017 Sociedad Española de Cardiología. Publicado por Elsevier España, S.L.U. Todos los derechos reservados.

## First Magnetic Resonance Managed by a Cardiology Department in the Spanish Public Healthcare System. Experience and Difficulties of an Innovative Model

## ABSTRACT

Magnetic resonance (MR) is considered the gold standard in the assessment of myocardial morphology, function, perfusion, and viability. However, its main limitation is its scarce availability. In 2014, we installed the first MR scanner exclusively managed by a cardiology department within the publicly-funded Spanish healthcare system with the aim of improving patient-care, training and research in the department. In the time interval analyzed, July 2014 to May 2017, 3422 cardiac MR scans were performed (32 minutes used per study; 96% with good quality; 75% with contrast media administration). The most prevalent clinical indications were cardiomyopathy (29%) and ischemic heart disease (12%). Twenty-five percent of studies were conducted in the context of research protocols. Follow-up studies predominated among outpatients, while pretherapeutic assessment was more common in hospitalized patients. The presumptive diagnosis was changed by cardiac MR scanning in up to 20% of patients investigated for ischemic heart disease. The installation and operative management of an MR scanner in our cardiology department has allowed us to integrate this technique into daily clinical practice, modify our clinical protocols, optimize access to this technology among cardiac patients, improve training, and conduct clinical research.

Full English text available from: [www.revespcardiol.org/en](http://www.revespcardiol.org/en)

© 2017 Sociedad Española de Cardiología. Published by Elsevier España, S.L.U. All rights reserved.

Keywords:

Magnetic resonance

Clinical management

Cardiology

\* Autor para correspondencia: Servicio de Cardiología, Hospital Universitario de Salamanca, P.º San Vicente 58-187, 37007 Salamanca, España. Correo electrónico: [pedrolsanchez@secardiologia.es](mailto:pedrolsanchez@secardiologia.es) (P.L. Sánchez).

## Abreviaturas

MIR: médico interno residente  
RM: resonancia magnética

## INTRODUCCIÓN

La resonancia magnética (RM) es la técnica considerada de referencia para evaluar la morfología, la función, los flujos, la perfusión y la viabilidad miocárdicos, todo ello en una sola prueba y de manera totalmente no invasiva.

Los primeros trabajos con RM cardíaca datan de principios de los años ochenta<sup>1-4</sup>, y la cardiología española incorporó esta técnica a mediados de los noventa<sup>5-9</sup>. Durante la última década, su uso clínico se ha generalizado en prácticamente todos los hospitales de tercer nivel españoles. Los últimos datos disponibles del registro RECALCAR 2015<sup>10,11</sup> mostraron un promedio de 403 ± 269 estudios por centro terciario.

Debido al avance tecnológico y la rápida evolución en la RM cardíaca, las indicaciones iniciales del método se han ampliado y están en continua expansión. Este incremento ha agudizado el problema de las listas de espera y dificulta la disponibilidad de tiempo de máquina en la mayoría de los hospitales, pues los procedimientos tienen lugar en equipos integrados en los servicios de radiología, que no solo deben atender patologías cardiovasculares. En este sentido, la Sociedad Española de Cardiología y la Sociedad Española de Radiología Médica elaboraron un documento de consenso<sup>12</sup> en el que recomiendan la creación de unidades o comités multidisciplinares de patología cardíaca, con la coordinación y la supervisión que en cada caso se consideren más operativas teniendo en cuenta las características de cada centro.

En el presente trabajo, se presenta nuestra experiencia inicial en la gestión operativa de la primera RM en un servicio de

cardiología perteneciente a un hospital de la red sanitaria pública española.

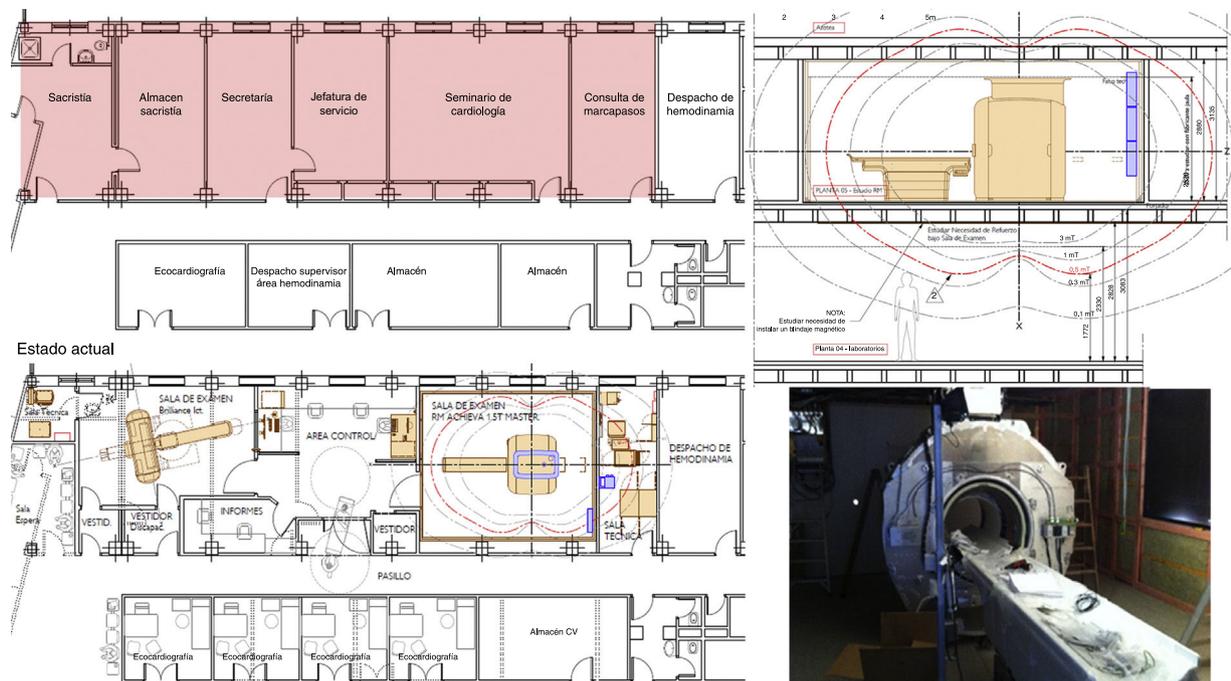
## PUNTO DE PARTIDA Y OBJETIVOS DE LA INSTALACIÓN DE UN EQUIPO DE RESONANCIA MAGNÉTICA

A finales del año 2013, el centro disponía de dos equipos de RM, ambos en el servicio de radiología. Los estudios cardiovasculares se realizaban en un equipo de 0,5 T con una disponibilidad total de aproximadamente 100 estudios anuales. Los servicios de radiología y cardiología practicaban e interpretaban los estudios conjuntamente. En ese contexto, la calidad de los estudios, debido a la baja intensidad del campo magnético, no cumplía con los estándares recomendados<sup>12-14</sup> y la demora asistencial era superior a 24 meses.

El escenario de necesidad de mejora en los tiempos de espera, el número y la calidad de los estudios, sumado a la imposibilidad de disponer de más tiempo de adquisición en los equipos instalados en ese momento y, en último término, el deseo de incorporar el servicio de cardiología a proyectos de investigación que exigen la realización de RM, impulsó un conjunto de actuaciones que derivaron en la incorporación de un equipo de RM en el servicio de cardiología. La hipótesis era que esta actuación constituiría el marco idóneo para la incorporación sistemática de las mejores prácticas clínicas, el acercamiento de la asistencia al entorno natural del paciente, la participación efectiva de profesionales, la asunción de nuevas formas de actuación y la innovación y el desarrollo en investigación. Con base en esta hipótesis, se instaló un equipo de RM con el objetivo de mejorar los procesos asistenciales, de formación e investigación de un servicio de cardiología.

## UBICACIÓN, EQUIPAMIENTO Y HERRAMIENTAS DE USO

Tras un plan de viabilidad, se decidió situar el equipo de RM en el área destinada a procedimientos del servicio de cardiología



**Figura 1.** Detalle de la ubicación y las modificaciones en las instalaciones motivadas por la instalación del equipo de resonancia magnética (RM). El equipo de RM ocupó un área destinada previamente a secretaría, aula de formación, despachos y consultas, en la segunda planta del edificio. La instalación del equipo requirió un detallado estudio de arquitectura y un plan de adecuación para garantizar que el edificio, inaugurado en 1975, fuese capaz de albergar los 3.800 kg que pesa el equipo de RM. Fue necesario colocar un refuerzo de la estructura y apantallamiento magnético en la planta inferior, construir una jaula de Faraday e instalar un tubo de Quench hasta el exterior (detalle en panel superior derecho). El imán, por su tamaño y su peso, se introdujo a través de la fachada del edificio. Se muestran comparadas las disposiciones de las instalaciones antes y después de montar el equipo de RM. En el panel inferior derecho, el equipo de RM durante el proceso de instalación.

(figura 1). Estas obras abarcaron 4 meses, entre marzo y julio de 2014.

El equipo instalado es un Philips Achieva DS 1.5 T (Philips Healthcare; Países Bajos), con fuerza de gradientes de hasta 66 mT/m y una velocidad de hasta 180 T/m/s. Se suministraron antenas de tórax y de cardio-coronario. Se implementó un sistema de posprocesado (IntelliSpacePortal, Philips Healthcare; Países Bajos), basado en tecnología cliente-servidor, que permite el uso concurrente desde estaciones de trabajo virtuales en cualquier punto de acceso a la red hospitalaria, con capacidad para análisis y cuantificación de estudios de RM cardiaca acordes con la bibliografía actual.

En la selección de estos equipos, la participación del servicio de cardiología fue decisiva, una vez analizadas diferentes ofertas de proveedores. El modelo de financiación para poner en marcha esta iniciativa fue fruto de la colaboración de la inversión privada y la pública. Asimismo se reforzó la plantilla del servicio de cardiología con la incorporación de 2 cardiólogos. La incorporación de los técnicos especialistas en radiodiagnóstico necesarios para el desarrollo del programa se financió con fondos de investigación del servicio de cardiología.

Los elementos de seguridad y las exploraciones de la RM se adecuaron a las recomendaciones vigentes de la SCMR (*Society of Cardiovascular Magnetic Resonance*)<sup>14–16</sup>. Asimismo, la interpretación de los estudios se llevó a cabo también conforme a las recomendaciones vigentes de la SCMR<sup>17</sup> y la *European Association of Cardiovascular Imaging*. M.B.P. desarrolló un sistema de gestión de la información dedicado al proceso de RM cardiaca, que ha permitido el análisis de datos de este manuscrito.

La totalidad de la información y las imágenes derivadas de los estudios de RM se envía en formato DICOM al sistema de almacenamiento y distribución de imágenes (PACS) del centro para su almacenamiento y custodia de acuerdo con la legislación vigente.

## PLAN DE FORMACIÓN Y RECURSOS HUMANOS

Dada la complejidad de la tecnología desplegada, se realizó un plan de formación inicial, con la colaboración de la empresa suministradora, que incluyó una jornada de seguridad en RM para todo el servicio y un curso práctico de aplicaciones clínicas.

En mayo de 2017, el personal implicado en el programa de RM cardiaca estaba formado por un equipo estable de 3 técnicos especialistas en radiodiagnóstico y 6 cardiólogos con formación

específica; la figura 2 muestra la evolución temporal de los recursos humanos. Los cardiólogos implicados están acreditados o en proceso de acreditación, requisito considerado imprescindible en el servicio como garante de calidad según el documento de consenso vigente<sup>12</sup>. La formación de los profesionales ligados al programa de RM cardiaca se acompañó de una serie de estancias en centros de excelencia nacionales (material suplementario), que suman un total de 39 meses de formación (mediana, 6 meses/cardiólogo).

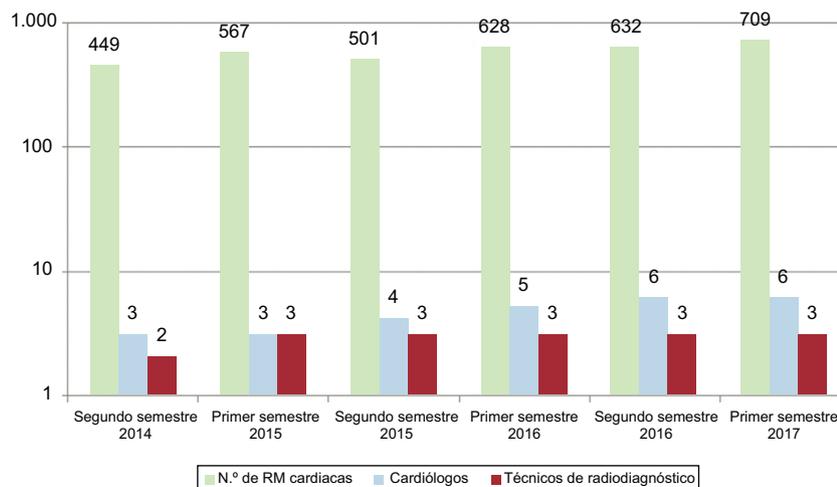
## PROGRAMACIÓN DE LA ACTIVIDAD

Diariamente, un técnico especialista en radiodiagnóstico y un cardiólogo se dedican en exclusiva a la RM cardiaca (material suplementario). La colaboración con el servicio de radiología durante el desarrollo del proyecto ha sido fluida y colaborativa. Inicialmente se contó con un radiólogo 1 día por semana pero, debido a la sobrecarga asistencial del servicio de radiología, se optó por instalar una estación de trabajo en su servicio, lo que permite colaborar a distancia de manera sencilla e inmediata.

## NÚMERO DE ESTUDIOS Y PROCEDIMIENTOS REALIZADOS

Desde su implantación y puesta en marcha el 23 de julio de 2014 hasta el 31 de mayo de 2017, se han realizado en total 3.422 estudios de RM en 2.747 pacientes. En este periodo se emplearon 719 días laborales, con un promedio de 4,8 estudios/día. Las características basales de la población y la variación temporal en el número de estudios se muestran en la tabla 1 y la figura 3 respectivamente. El servicio de cardiología fue el mayor solicitante de estudios, y la mayoría de los pacientes fueron ambulatorios. Un total de 272 estudios (el 8,0% del total) fueron derivados desde los centros hospitalarios a los que se prestan servicios hospitalarios de tercer nivel. No se pudo realizar el estudio a 50 pacientes (1,5%) por negativa de este o presencia de material metálico que lo contraindicaba. Durante la realización de la prueba, se interrumpió la exploración de 37 pacientes (1,1%); los motivos más frecuentes fueron: aparición de síntomas de ansiedad o claustrofobia (n = 22; 59,5%), extravasación del medio de contraste (n = 6; 16,2%), descompensación de insuficiencia cardiaca (n = 6; 16,2%) y alergia leve al medio de contraste (n = 3; 8,1%).

Se indicó administración de medio de contraste (gadobutrol 1 mmol/ml) en 2.573 estudios (75,2%); la dosis administrada a todos los pacientes con tasa de filtrado glomerular estimada



**Figura 2.** Evolución temporal del número de estudios, de cardiólogos y de técnicos de radiodiagnóstico del servicio de cardiología implicados en el funcionamiento de la resonancia magnética (RM) cardiaca. Gráfico en escala logarítmica.

**Tabla 1**  
Características basales de la población estudiada

Exploraciones, n	3.422
Pacientes, n	2.747
Varones	1.929 (56,3)
Edad (años)	60 ± 19 (7-96)
≤ 20 años	104 (30,4)
> 20-40 años	370 (10,8)
> 40-60 años	876 (25,6)
> 60-80 años	1.689 (49,4)
> 80 años	383 (11,2)
Peso (kg)	74 ± 15 (19-135)
Talla (m)	1,7 ± 0,1 (1,3-2,1)
IMC	26,4 ± 4,2 (5,9-52,0)
Superficie corporal (m <sup>2</sup> )	1,8 ± 0,2 (1,0-2,6)
Ritmo	
Sinusal	2.927 (85,6)
Fibrilación auricular	467 (13,7)
Frecuencia cardiaca (lpm)	69 ± 14 (30-120)
TFGe (ml/min)	74 ± 19 (8-90)
TFGe < 30 ml/min	79 (2,3)
Procedencia del paciente	
Hospitalización	476 (13,9)
Ambulatoria	2.946 (86,1)
Servicio solicitante	
Cardiología	3.011 (88,0)
Otro	411 (12,0)

IMC: índice de masa corporal; TFGe: tasa de filtrado glomerular estimada. Salvo otra indicación, los valores expresan n (%) o media ± desviación estándar (intervalo).

> 30 ml/min fue de 0,15 mmol/kg. No se administró medio de contraste a ningún paciente con tasa de filtrado glomerular estimada < 30 ml/min.

La duración del estudio fue una mediana de 32 [intervalo intercuartílico, 11] min. El aumento de actividad ha permitido

reducir la demora de 24 meses a 10 días para el paciente ambulatorio y < 24 h para el paciente ingresado.

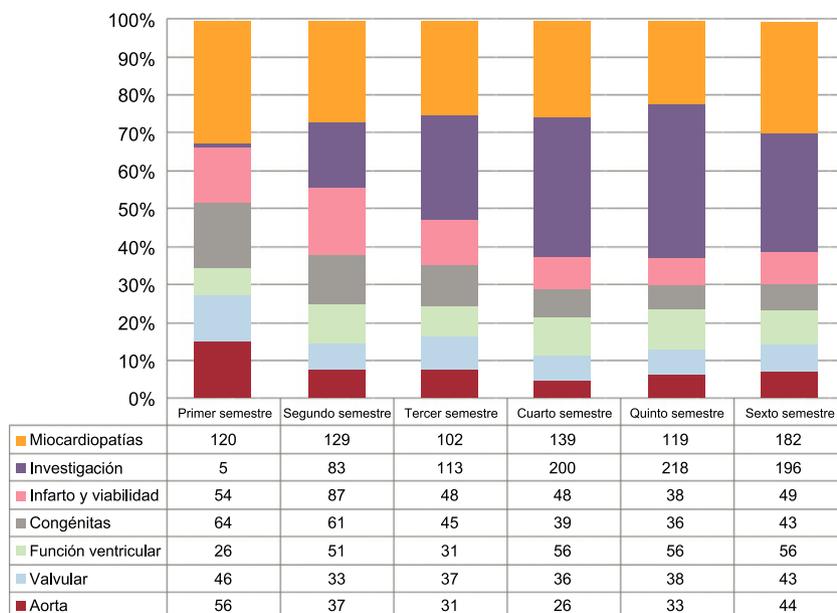
## CALIDAD DE LOS ESTUDIOS E INDICACIONES

La calidad del estudio se clasificó como buena o aceptable en el 95,6% de los casos, completamente interpretables<sup>17</sup>. Se clasificó como de mala calidad el 4,3%, pero el estudio se pudo interpretar, mientras que el 0,1% de los estudios resultaron no interpretables. Las variables asociadas significativamente con un estudio de mala calidad fueron: la mayor edad (50 frente a 72 años;  $p < 0,01$ ), la obesidad (índice de masa corporal 26,3 frente a 28,9;  $p < 0,01$ ), la presencia de arritmias (el 2% en sinusal frente al 17,8% en fibrilación auricular;  $p < 0,01$ ) y una mayor frecuencia cardiaca (69 frente a 83 lpm;  $p < 0,01$ ).

Tras la interpretación, se emitió el informe el mismo día de la exploración en el 78,3% de los estudios, y en las primeras 72 h el 88,2%.

El número de estudios por tipo de indicación para RM cardiaca en el centro se muestra en la [tabla 2](#). Las dos indicaciones más frecuentes fueron miocardiopatías y estudios de investigación, que constituyeron casi el 45% de los solicitados. La [figura 3](#) muestra la variación temporal del peso específico de las 6 indicaciones clínicas más frecuentes (el 85,3% del total de estudios clínicos) y de los estudios de investigación. Estos han experimentado un claro incremento y actualmente suponen el 32% de la actividad.

De las RM cardiacas solicitadas con indicación clínica, el 15,3% no evidenció cardiopatía estructural, y se catalogaron como normales las de 406 pacientes. La proporción de estudios normales fue mayor entre los pacientes ambulatorios que entre los hospitalizados (el 17,1 frente al 5,5%;  $p < 0,05$ ). Los diagnósticos emitidos más frecuentemente en relación con las indicaciones clínicas más habituales se muestran en la [tabla 3](#). Como ejemplos de utilidad asistencial, cabe destacar que la RM descartó la presencia de infarto previo en el 20,6% de los estudios solicitados por sospecha de cardiopatía isquémica; descartó cardiopatía estructural en el 19,3% de los estudios solicitados por sospecha de miocardiopatía y en el 16,2% de los solicitados para evaluación de la función ventricular porque la ecocardiografía resultó



**Figura 3.** Variación temporal del peso específico de cada indicación de resonancia magnética cardiaca en el centro. Análisis de las 6 indicaciones clínicas más frecuentes (el 85% del total) e investigación.

**Tabla 2**  
Indicaciones de los estudios de resonancia magnética cardiaca

Indicación	n (%)
Asistencial	2.656 (77,6)
Miocardiopatías	766 (28,8)
Infarto y viabilidad	324 (12,2)
Cardiopatías congénitas	285 (10,7)
Evaluación de la función ventricular	262 (9,9)
Valvular	226 (8,5)
Aorta	221 (8,3)
Cribado de cardiopatía estructural	201 (7,6)
Cribado de cardiopatía familiar	95 (3,6)
Etiología de la insuficiencia cardiaca	67 (2,5)
Hipertensión pulmonar	47 (1,8)
Masa o tumor	41 (1,5)
Pericardio	25 (0,9)
Miocarditis	25 (0,9)
Angiografía	21 (0,8)
Otras	50 (1,9)
Investigación	766 (22,4)
Total	3.422 (100)

insuficiente. Asimismo detectó enfermedad previamente no conocida, como infarto de miocardio silente en el 28,6% y miopericarditis previa en el 9,5% de las exploraciones solicitadas para estudio etiológico de insuficiencia cardiaca, y diagnóstico de válvula aórtica bicúspide en el 10,8% de las solicitadas por dilatación de aorta.

Las diferentes proporciones en las indicaciones de RM entre pacientes ambulatorios e ingresados se muestran en la [figura 4](#). Para los ingresados, se solicitaron más estudios con objetivo terapéutico, como establecer la presencia de infarto de miocardio y/o la valoración de viabilidad (el 25,4 frente al 5,6%;  $p < 0,01$ ) y el estudio etiológico de insuficiencia cardiaca (el 6,3 frente al 1,1%;  $p < 0,01$ ). En fase ambulatoria, las principales diferencias se localizaron en estudios de seguimiento prospectivo de enfermedad crónica, como cardiopatías congénitas (el 8,2 frente al 0,7%;  $p < 0,01$ ), enfermedad aórtica (el 6,8 frente al 0,7%;  $p < 0,01$ ), valvulopatías (el 7,1 frente al 2,2%;  $p < 0,01$ ) o hipertensión pulmonar (el 1,6 frente al 0,2%;  $p < 0,05$ ).

La integración de la RM en la práctica clínica diaria ha permitido modificar los protocolos asistenciales. La RM ha sustituido a la medicina nuclear en la valoración de viabilidad miocárdica o a la tomografía computarizada en la valoración y el seguimiento de la enfermedad aórtica crónica, con el consiguiente ahorro de radiación ionizante. Asimismo, la RM se ha estandarizado en escenarios como el estudio de miocardiopatías, el cribado familiar de pacientes con ventana ecográfica subóptima, las cardiopatías congénitas o antes de implantar un desfibrilador automático implantable para el estudio del sustrato arritmico y la función ventricular, así como se aplica a pacientes seleccionados, como para el seguimiento preciso del tamaño y la función ventriculares, el estudio del ventrículo derecho previo a la cirugía valvular cardiaca o la valoración previa al implante de dispositivos de asistencia ventricular de larga duración.

## INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN

En total, los estudios con RM en el ámbito de protocolos de investigación fueron 766; lo que representa el 22,4% de todos los estudios realizados en el periodo evaluado. Las líneas principales se

centraron en cardiotoxicidad (484 estudios; 63,2%), infarto agudo de miocardio (170; 22,2%), terapia celular (21; 2,7%), daño cerebral en fibrilación auricular (16; 2,1%), seguridad en dispositivos intracardiacos (9; 1,2%) y otros (66; 8,6%). El número de estudios de investigación que requerían exploración por RM en los que el servicio estaba implicado antes de la instalación de la RM cardiaca era 1, y obligaba a externalizar las exploraciones. Durante estos 3 años, hemos participado en 12 estudios que precisaban la realización de RM cardiaca. A través de algunos de estos protocolos se han establecido colaboraciones con centros de excelencia como el CIBERCV (Centro de Investigación Biomédica en Red Enfermedades Cardiovasculares), o el Centro Nacional de Investigaciones Cardiovasculares, o con proyectos de innovación público-privados. Asimismo, la cantidad obtenida en fondos de investigación competitivos y en ensayos clínicos asciende a 1 millón de euros, lo cual supera el coste de instalación de la RM. El índice de impacto acumulado en publicaciones indexadas por el servicio de cardiología ha variado de 34,86 (13 publicaciones) en 2013 a 117,85 (39 publicaciones) en 2016.

La integración de la RM dentro del servicio de cardiología también ha tenido un impacto en la formación impartida. Antes de 2014, los médicos internos residentes (MIR) de cardiología se desplazaban a centros externos para formarse en RM cardiaca. En su conjunto, en el periodo 2014-2017 se ha contado con personal en formación un total de 29 meses (el 80,1% del tiempo total). De cara al futuro, en el momento de redactarse este trabajo se ha recibido solicitud y se han comprometido 37 meses de formación MIR y post-MIR a personal externo al centro hasta el año 2020. Por último, en relación con el proyecto expuesto, se diseñó y se puso en marcha en 2016 un curso práctico monográfico sobre RM cardiaca para técnicos especialistas en radiodiagnóstico, radiólogos y cardiólogos; la mayoría de los asistentes eran externos al centro.

El aumento en la actividad formativa ha convertido en más atractivo el servicio para los MIR que escogieron cardiología, al haber pasado de un número 971 como última plaza disponible en 2014 al número 564 en 2017, de modo que este año ha sido el primer centro en agotar las plazas disponibles de la comunidad autónoma.

## LECCIONES APRENDIDAS Y RECOMENDACIONES

Este es el primer trabajo que analiza resultados asistenciales, en investigación y formación derivados de implantar un equipo de RM en un servicio de cardiología del Sistema Nacional de Salud. Se han publicado experiencias previas similares en Reino Unido<sup>18</sup> y Alemania<sup>19,20</sup>, países que tienen también sistemas sanitarios públicos. Los resultados expresados en el presente trabajo son comparables a los de otros grupos, salvo en la distribución de indicaciones de los estudios, que se ajusta a la realidad de cada hospital. En nuestro centro, se ha demostrado que la implantación de una RM es una herramienta asistencial útil que incorpora sistemáticamente mejores prácticas y elimina listas de espera, incrementa la participación efectiva de los profesionales del servicio, desarrolla la formación y mejora la investigación.

La enorme utilidad de la RM cardiaca está fuera de toda duda en la actualidad<sup>21-23</sup>. Si su disponibilidad fuese ilimitada, sería la técnica diagnóstica no invasiva más utilizada en la evaluación de la mayoría de las enfermedades cardiovasculares. Ahora bien, como sucede con cualquier tecnología sofisticada, su implementación no está exenta de problemas<sup>24,25</sup>. Las principales dificultades para implementarla son el elevado coste económico del equipo, la complejidad de la puesta en marcha por los requisitos logísticos, de infraestructura y de adaptación del entorno y, en cierta medida, la especialización y el entrenamiento del personal implicado, porque su implementación supone una

**Tabla 3**

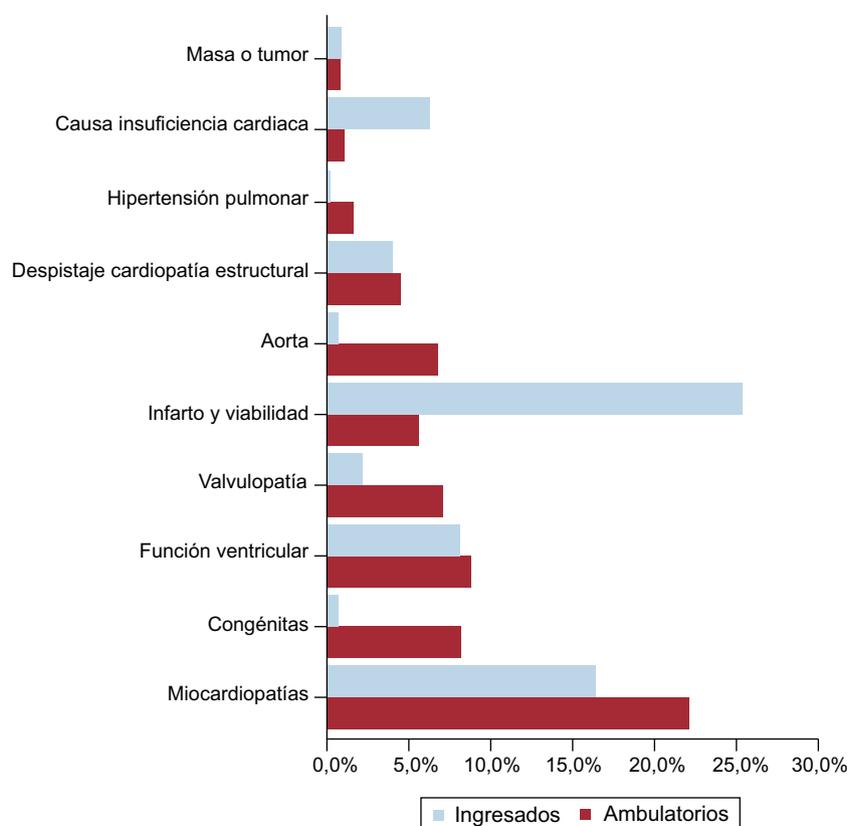
Principales diagnósticos emitidos en el informe de resonancia magnética cardiaca en relación con cada una de las 6 indicaciones clínicas principales

Indicación	n (%)	Diagnóstico	n (%)
Miocardiopatía	766 (28,8)	Miocardiopatía hipertrófica	183 (23,9)
		Normal	148 (19,3)
		Miocardiopatía dilatada	94 (12,3)
		Fenotipo intermedio*	39 (5,1)
		Miopericarditis	36 (4,7)
		Otros	266 (34,7)
Infarto y viabilidad	324 (12,2)	Cardiopatía isquémica crónica	198 (61,0)
		Cardiopatía isquémica aguda	60 (18,4)
		Normal	18 (5,6)
		Miocardiopatía dilatada no isquémica	6 (1,9)
		Miopericarditis	5 (1,5)
		Otros	38 (11,6)
Cardiopatía congénita	285 (10,7)	Coartación de aorta	54 (19,0)
		Válvula aórtica bicúspide	48 (16,8)
		Comunicación interventricular	22 (7,8)
		Tetralogía de Fallot	22 (7,8)
		Comunicación interauricular	22 (7,8)
		Otros	116 (40,8)
Función ventricular	262 (9,9)	Cardiopatía isquémica crónica	45 (17,3)
		Valvulopatía ( $\geq$ moderada)	45 (17,3)
		Normal	42 (16,2)
		Miocardiopatía dilatada	32 (12,2)
		Miocardiopatía tóxica	15 (5,6)
		Otros	82 (31,4)
Valvulopatía	226 (8,5)	Insuficiencia aórtica	96 (42,6)
		Estenosis aórtica	24 (10,4)
		Valvulopatía mitral/tricuspidéa	24 (10,4)
		Válvula aórtica bicúspide	24 (10,4)
		Normal	6 (2,7)
		Otros	53 (23,5)
Aorta	221 (8,3)	Dilatación aórtica	118 (53,3)
		Válvula aórtica bicúspide	24 (10,8)
		Normal	20 (9,0)
		Insuficiencia aórtica	16 (7,2)
		Estenosis aórtica	11 (4,8)
		Otros	33 (14,9)

\* Fenotipo intermedio: estudio con parámetros distintos de la normalidad, pero que no cumplen criterios diagnósticos de miocardiopatía específica por estudio de resonancia magnética cardiaca.

profunda modificación del funcionamiento habitual y la dinámica de un servicio de cardiología. En nuestra experiencia, el principal reto en la puesta en marcha y funcionamiento actual de la RM cardiaca ha sido y es la formación e incorporación de personal especializado que rentabilice al máximo su funcionamiento. El esfuerzo y la colaboración colectivos son primordiales para que el uso de esta tecnología sea verdaderamente práctico y eficiente. En este sentido, las pautas para una puesta en funcionamiento y un desarrollo adecuados deben tener en cuenta las siguientes consideraciones: a) identificar las necesidades y los objetivos de la RM cardiaca a corto, medio y largo plazo; b) analizar los puestos de trabajo necesarios en el día a día; c) definir los conocimientos, las habilidades y las destrezas (competencias) requeridos para el desempeño adecuado de las tareas incluidas en la RM cardiaca; d) evaluar periódicamente el desempeño de estas tareas en cada puesto de ocupación, y e) definir puntos o áreas de mejora resultantes de los análisis anteriores.

En un entorno sanitario público europeo similar al nuestro, se ha demostrado el coste-efectividad de la RM cardiaca en el contexto de la cardiopatía isquémica<sup>26</sup>. Sin embargo, incorporar una RM en un servicio de cardiología podría interpretarse como un gasto innecesario en épocas de crisis económica. De hecho, en nuestra experiencia, otros departamentos interpretaron que esa inversión cercenaba otras iniciativas más prioritarias. En este sentido, como ocurrió en nuestro caso, es esencial que la dirección del hospital explique el origen de la inversión y sus objetivos a todos los servicios hospitalarios y que apoye proyectos de innovación cuya evaluación y rentabilidad futuras se establezcan de antemano en los 3 ámbitos clásicos: asistencia, formación e investigación<sup>27-29</sup>. La RM cardiaca ha mejorado la formación del servicio y ha abierto líneas de colaboración con solicitud de proyectos de investigación competitivos con centros de excelencia<sup>30,31</sup>, pero también con otros servicios del hospital con los que antes no se colaboraba tan activamente. Desde un punto de vista asistencial, puede haber contribuido a mejorar los resultados



**Figura 4.** Diferencia de indicación clínica de resonancia magnética cardiaca entre solicitudes de pacientes ambulatorios y de ingresados. Se muestra el porcentaje que representa cada indicación del total de estudios solicitados para pacientes ambulatorios e ingresados.

asistenciales del servicio, tal y como muestran los datos del registro RECALCAR<sup>10,11</sup>, si bien es complicado valorar el peso específico de la implementación de esta técnica en los resultados generales.

Una de las principales barreras para la universalización de este tipo de tecnología en los servicios de cardiología es el coste de los equipos y del personal implicado en su uso. Entendemos que la colaboración público-privada y establecer un programa de formación fueron los dos elementos de éxito en nuestro modelo de innovación. En relación con el coste económico y la rentabilidad, no existen estudios que demuestren que el empleo de RM en servicios de cardiología sea coste-eficiente, más allá del escenario de la cardiopatía isquémica<sup>26</sup>. Sin embargo, en nuestra experiencia, cabe destacar que, en 3 años de funcionamiento, los fondos obtenidos de proyectos de investigación para cuyo desarrollo la RM fue un elemento clave superan el coste inicial del equipo de RM y su instalación.

## CONCLUSIONES

La instalación y la gestión operativa de una RM cardiaca en un servicio de cardiología del Sistema Nacional de Salud son una herramienta asistencial útil que incorpora sistemáticamente mejores prácticas asistenciales y elimina lista de espera, implementa la participación efectiva de los profesionales del servicio, mejora la formación y desarrolla la investigación.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Pedro Vara, Leticia Vicente, Irene Martínez, Iván Zamarro, M. Jesús García-Sánchez, Jendri Pérez, Olga Durán, Marta Alonso, Carlos Lugo y Carolina Ingaramo su esfuerzo a la hora de obtener los datos reseñados en este artículo.

## FINANCIACIÓN

El presente trabajo ha sido financiado por el Instituto de Salud Carlos III (Ministerio de Economía, Industria y Competitividad) dentro de la RIC (Red de Investigación Cardiovascular), del Proyecto de Investigación de Excelencia (PIE14/00066), del Plan de Acción para el fomento de la investigación clínica y traslacional, de los fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional) y del CIBERCV, y por la Gerencia Regional de Salud de Castilla y León dentro del proyecto de investigación GRS1203/A/15 y del programa 2015 de reconocimiento e incentivación de profesionales que finalizan su residencia.

## CONFLICTO DE INTERESES

No se declara ninguno.

## MATERIAL SUPLEMENTARIO



Se puede consultar material suplementario a este artículo en su versión electrónica disponible en <https://doi.org/10.1016/j.recesp.2017.11.036>

## BIBLIOGRAFÍA

1. Kaufman L, Crooks LE, Sheldon PE, Rowan W, Miller T. Evaluation of NMR imaging for detection and quantification of obstructions in vessels. *Invest Radiol.* 1982;17:554-560.
2. Herfkens RJ, Higgins CB, Hricak H, et al. Nuclear magnetic resonance imaging of the cardiovascular system: normal and pathologic findings. *Radiology.* 1983; 147:749-759.

3. Higgins CB, Stark D, McNamara M, Lanzer P, Crooks LE, Kaufman L. Multiplane magnetic resonance imaging of the heart and major vessels: studies in normal volunteers. *AJR Am J Roentgenol*. 1984;142:661–667.
4. Dinsmore RE, Wismer GL, Levine RA, Okada RD, Brady TJ. Magnetic resonance imaging of the heart: positioning and gradient angle selection for optimal imaging planes. *AJR Am J Roentgenol*. 1984;143:1135–1142.
5. Pons Lladó G, Carreras F, Gumá JR, et al. Uses of magnetic resonance in cardiology: initial experience in 100 cases. *Rev Esp Cardiol*. 1994;47 Suppl 4:156–165.
6. Soler R, Rodríguez E, Lopez MF, Marini M. MR imaging in inferior vena cava thrombosis. *Eur J Radiol*. 1995;19:101–107.
7. Pons-Lladó G, Carreras F, Borrás X, Palmer J, Llauger J, Bayes de Luna A. Comparison of morphologic assessment of hypertrophic cardiomyopathy by magnetic resonance versus echocardiographic imaging. *Am J Cardiol*. 1997;79:1651–1656.
8. Soler R, Rodríguez E, Rodríguez JA, Perez ML, Penas M. Magnetic resonance imaging of apical hypertrophic cardiomyopathy. *J Thorac Imaging*. 1997;12:221–225.
9. Carreras F, Borrás X, Pons-Lladó G, Llauger J, Palmer J. Assessment of Acute Myocardial Infarction by Gadolinium-DTPA Contrast Magnetic Resonance Imaging in Comparison With Echocardiography. *Rev Esp Cardiol*. 1999;52:885–891.
10. Rodríguez-Padial L, Bertomeu V, Elola FJ, et al. Quality improvement strategy of the Spanish Society of Cardiology: The RECALCAR Registry. *J Am Coll Cardiol*. 2016;68:1140–1142.
11. Íñiguez Romo A, Bertomeu Martínez V, Rodríguez Padial L, et al. The RECALCAR Project. Healthcare in the Cardiology Units of the Spanish National Health System, 2011 to 2014. *Rev Esp Cardiol*. 2017;70:567–575.
12. Rodríguez-Palomares JF, Maceira-González AM, Jiménez-Borreguero JL, et al. Recomendaciones para formación, acreditación y uso apropiado de la cardio-resonancia magnética. *Sociedad Española de Cardiología*. 2016. Disponible en: <https://secardiologia.es/images/publicaciones/protocolos/recomendaciones-sec-seram-formacion-acreditacion-uso-apropiado-cardio-resonancia-magnetica.pdf>. Consultado 22 Nov 2017.
13. Pons Lladó G, Carreras Costa F, Castro Beiras A, et al. Guidelines of the Spanish Society of Cardiology on Magnetic Resonance. *Rev Esp Cardiol*. 2000;53:542–559.
14. Kramer CM, Barkhausen J, Flamm SD, et al. Society for Cardiovascular Magnetic Resonance and Board of Trustees Task Force on Standardized Protocols. Standardized cardiovascular magnetic resonance (CMR) protocols 2013 update. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013;15:91.
15. Hundley WG, Bluemke DA, Finn JP, et al. American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. ACCF/ACR/AHA/NASCI/SCMR 2010 expert consensus document on cardiovascular magnetic resonance: a report of the American College of Cardiology Foundation Task Force on Expert Consensus Documents. *J Am Coll Cardiol*. 2010;55:2614–2662.
16. Levine GN, Gomes AS, Arai AE, et al. Safety of magnetic resonance imaging in patients with cardiovascular devices: an American Heart Association scientific statement from the Committee on Diagnostic and Interventional Cardiac Catheterization, Council on Clinical Cardiology, and the Council on Cardiovascular Radiology and Intervention: endorsed by the American College of Cardiology Foundation, the North American Society for Cardiac Imaging, and the Society for Cardiovascular Magnetic Resonance. *Circulation*. 2007;116:2878–2891.
17. Schulz-Menger J, Bluemke DA, Bremerich J, et al. Standardized image interpretation and post processing in cardiovascular magnetic resonance: Society for Cardiovascular Magnetic Resonance (SCMR) board of trustees task force on standardized post processing. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2013;15:35.
18. Antony R, Daghm M, McCann GP, et al. Cardiovascular magnetic resonance activity in the United Kingdom: a survey on behalf of the British Society of Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2011;13:57.
19. Bernhardt P, Engels T, Knuf B, Strohm O. Cardiac magnetic resonance in outpatients in Germany—indications, complications and protocol suggestions from a high-volume center. *Int J Cardiol*. 2006;111:86–91.
20. Knobelsdorff-Brenkenhoff F, Bublak A, El-Mahmoud S, Wassmuth R, Opitz C, Schulz-Menger J. Single-center survey of the application of cardiovascular magnetic resonance in clinical routine. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2013;14:62–68.
21. Antony R, Daghm M, McCann GP, et al. Cardiovascular magnetic resonance activity in the United Kingdom: a survey on behalf of the British Society of Cardiovascular Magnetic Resonance. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2011;13:57.
22. Valbuena-López S, Hinojar R, Puntmann VO. Cardiovascular Magnetic Resonance in Cardiology Practice: A Concise Guide to Image Acquisition and Clinical Interpretation. *Rev Esp Cardiol*. 2016;69:202–210.
23. Salerno M, Sharif B, Arheden H, et al. Recent advances in cardiovascular magnetic resonance: techniques and applications. *Circ Cardiovasc Imaging*. 2017. <https://dx.doi.org/10.1161/CIRCIMAGING.116.003951>.
24. Campbell F, Thokala P, Uttley LC, et al. Systematic review and modelling of the cost-effectiveness of cardiac magnetic resonance imaging compared with current existing testing pathways in ischemic cardiomyopathy. *Health Technol Assess*. 2014;18:59.
25. Brell M, Roldán P, González E, Llinás P, Ibáñez J. First intraoperative magnetic resonance imaging in a Spanish hospital of the public healthcare system: initial experience, feasibility and difficulties in our environment. *Neurocirugía (Astur)*. 2013;24:11–21.
26. Whyte S, Dixon S, Faria R, et al. Estimating the cost-effectiveness of implementation: is sufficient evidence available? *Value Health*. 2016;19:138–144.
27. Pavitt SH, Baxter PD, Brunton PA, et al. The INCENTIVE protocol: an evaluation of the organisation and delivery of NHS dental healthcare to patients—innovation in the commissioning of primary dental care service delivery and organisation in the UK. *BMJ Open*. 2014;4:e005931.
28. Dario C, Delise P, Gubian L, Saccavini C, Brandolino G, Mancin S. Large controlled observational study on remote monitoring of pacemakers and implantable cardiac defibrillators: a clinical, economic, and organizational evaluation. *Interact J Med Res*. 2016;5:e4.
29. Redberg RF. Computed tomographic angiography: more than just a pretty picture? *J Am Coll Cardiol*. 2007;49:1827–1829.
30. Fernández-Jiménez R, Galán-Arriola C, Sánchez-González J, et al. Effect of ischemia duration and protective interventions on the temporal dynamics of tissue composition after myocardial infarction. *Circ Res*. 2017;121:439–450.
31. Fernández-Jiménez R, Barreiro-Pérez M, Martín-García A, et al. Dynamic edematous response of the human heart to myocardial infarction: implications for assessing myocardial area at risk and salvage. *Circulation*. 2017;136:1288–1300.