

## Problemas relevantes en cardiología 2010

# Papel de la resonancia magnética en la evaluación de las valvulopatías

Pastora Gallego\*

Unidad de Técnicas Diagnósticas de Imagen, Servicio de Cardiología, Hospital Universitario Virgen Macarena, Sevilla, España

---

### Palabras clave:

Resonancia magnética cardíaca  
Valvulopatías  
Insuficiencias valvulares  
Estenosis valvulares

---

### Keywords:

Cardiac magnetic resonance  
Valvular heart disease  
Valve regurgitation  
Valve stenosis

---

### RESUMEN

Aunque la ecocardiografía Doppler continúa siendo la modalidad de imagen más utilizada en la evaluación de la enfermedad valvular, esta técnica presenta algunas limitaciones que pueden reducir la calidad de los estudios y dificultar la interpretación de los resultados. La resonancia magnética cardíaca puede llegar a ser superior a la ecocardiografía en algunos aspectos, que incluyen la valoración de las dimensiones, los volúmenes, la función y la masa ventriculares, la cuantificación de las insuficiencias valvulares y el estudio de áreas de fibrosis en el miocardio y de las estructuras extracardiacas. Se utiliza para ello una serie de secuencias de pulso, creadas para adquirir información sobre aspectos específicos de la caracterización tisular y de los flujos transvalvulares. Este artículo de divulgación general se centra en la utilidad clínica de la resonancia magnética en el diagnóstico de la enfermedad valvular y revisa cómo se integran los datos obtenidos mediante resonancia magnética cardíaca en los algoritmos de manejo clínico de los pacientes con lesiones valvulares significativas.

---

### Magnetic Resonance Imaging in the Assessment of Valvular Heart Disease

### ABSTRACT

Although Doppler echocardiography remains the most frequently used imaging modality for assessing valvular heart disease, the technique has a number of limitations that could affect the quality of imaging studies and make the results difficult to interpret. Cardiac magnetic resonance (CMR) imaging could be superior to echocardiography in a number of ways: for example, for assessing ventricular dimensions, volumes, function and mass, for quantifying valvular regurgitation, and for investigating areas of myocardial fibrosis and extracardiac structures. In carrying out these tasks, CMR uses a variety of pulse sequences that are specially created to obtain information on specific tissue characteristics or on particular aspects of blood flow through heart valves. This general review article focuses on the usefulness of CMR in the clinical diagnosis of valvular heart disease and reviews how the data acquired using the technique can be incorporated into algorithms for the clinical management of patients with significant valvular heart lesions.

---

## INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, la prevalencia de la enfermedad valvular, principalmente degenerativa y congénita, se ha incrementado y plantea al clínico numerosos retos diagnósticos y terapéuticos<sup>1</sup>. Indudablemente, la ecocardiografía Doppler constituye la técnica de imagen de elección en la evaluación inicial y en el seguimiento de los pacientes con enfermedad valvular. Aunque es una técnica ampliamente disponible, con una excelente relación coste-efectividad, la ecocardiografía presenta limitaciones inherentes a la ventana acústica del paciente, es dependiente de la experiencia y habilidad del operador, no es muy exacta en la cuantificación de las insuficiencias valvulares

y su precisión es limitada en la valoración de las lesiones valvulares del corazón derecho y de los volúmenes y la función del ventrículo derecho. Otras modalidades de imagen permiten evaluar aspectos específicos de las lesiones valvulares. Así, la tomografía computarizada (TC) multidetector se caracteriza por una alta resolución espacial y permite obtener excelentes imágenes anatómicas de las válvulas (particularmente la válvula aórtica), pero es una técnica poco apropiada para el estudio funcional por su poca resolución temporal<sup>2</sup>. El cateterismo cardíaco continúa considerándose el patrón de referencia para la valoración hemodinámica de las lesiones valvulares, pero es una técnica invasiva y ofrece escasa información anatómica<sup>3</sup>. Además, el uso de contrastes yodados y la necesidad de exponer al paciente a

---

\* Autor para correspondencia: Unidad de Técnicas Diagnósticas de Imagen, Hospital Universitario Virgen Macarena, Avda. Dr. Fedriani 3, 41071 Sevilla, España.  
Correo electrónico: pastoralgallego@teleline.es

## Abreviaturas

ETE: ecocardiografía transesofágica.  
RMC: resonancia magnética cardiaca.  
SSFP: secuencias de precesión libre en estado estacionario.

radiaciones ionizantes limitan la aplicabilidad de ambas técnicas en la práctica habitual. Por el contrario, la resonancia magnética cardiaca (RMC) aporta, de manera no invasiva, una valoración integral, anatómica y funcional de la enfermedad valvular sin necesidad de emplear radiaciones ionizantes. Tanto la etiología y la severidad de la lesión valvular como las consecuencias hemodinámicas que de ella se derivan pueden estudiarse de manera precisa mediante RMC y, además, ofrece información incremental con respecto a la ecocardiografía en lo que respecta a la cuantificación directa de las lesiones valvulares y la caracterización tisular. Este artículo se centra en la utilidad clínica de la resonancia magnética en el diagnóstico de la enfermedad valvular y revisa cómo se integran los datos obtenidos mediante RMC en los algoritmos de manejo clínico de los pacientes con lesiones valvulares significativas.

## PRINCIPIOS TÉCNICOS Y SECUENCIAS EN LA ENFERMEDAD VALVULAR

La evaluación óptima de las valvulopatías debería incluir un análisis preciso de la anatomía valvular y cuantificación de la severidad y diagnosticar la etiología y las consecuencias hemodinámicas de la lesión, fundamentalmente en lo que al tamaño y la función ventriculares se refiere. Finalmente, en ocasiones se requiere información adicional sobre los grandes vasos, la presencia y la extensión de enfermedad coronaria asociada y la existencia de áreas de fibrosis miocárdica. Para obtener esta información, la RMC emplea una variedad de secuencias de pulso. Cada secuencia es una combinación de distintos cambios en el gradiente magnético y varios tipos de pulsos de radiofrecuencia, cuyo objetivo es, precisamente, adquirir la información necesaria en cuanto a la caracterización tisular y los flujos transvalvulares.

### Anatomía y función

La mayoría de la información sobre anatomía y función se obtiene utilizando secuencias de cine de resonancia. Las más frecuentemente utilizadas son las secuencias de precesión libre en estado estacionario (SSFP), que se caracterizan por una razón señal/ruido excelente y por un excelente contraste entre la alta señal de la sangre (blanca) y la pérdida de señal por saturación de los tejidos estacionarios circundantes<sup>4</sup>. El uso de las secuencias SSFP ha reemplazado a otras secuencias gradiente de eco, aunque estas continúan siendo de interés en el estudio de la enfermedad valvular para evaluar la extensión de las turbulencias de flujo. Ambas secuencias producen imágenes bidimensionales del plano prescrito por el operador en los diferentes ejes cardíacos, se adquieren varias imágenes (20-40 *frames*) a lo largo de varios ciclos cardíacos y pueden mostrarse en modo cine, ofreciendo información dinámica en sístole y en diástole. Cada imagen tiene una resolución temporal de 30 ms y se adquiere con el paciente en apnea y sincronizada con el ECG a lo largo de varios ciclos cardíacos. Aunque actualmente también es posible realizar los estudios de RMC en tiempo real<sup>5</sup>, reduciendo el tiempo de adquisición, en los pacientes incapaces de mantener la respiración esto reduce la resolución temporal y espacial, y la calidad de la imagen en estos casos es muy dependiente de las arritmias, tan frecuentes en los pacientes con las lesiones valvulares.

Las secuencias SSFP constituyen la base para cuantificar los volúmenes y la masa ventricular y, actualmente, se consideran el patrón de referencia para tales mediciones<sup>6</sup>. Así, se adquieren imágenes en plano de eje corto con secuencias multicorte y multifase, lo que cubre ambos ventrículos completamente, desde el ápex hasta el plano de las válvulas auriculoventriculares. Con este método, la determinación de los volúmenes no se basa en ningún supuesto geométrico. Por otra parte, la resolución espacial de las secuencias SSFP es de 1-2 mm, lo que es suficiente para estudiar con precisión la anatomía valvular. Sin embargo, la necesidad de adquirir imágenes de cine durante varios ciclos cardíacos puede resultar en una visualización subóptima de estructuras más pequeñas o de movimiento caótico, como las vegetaciones o la rotura de cuerdas del aparato subvalvular mitral<sup>7</sup>.

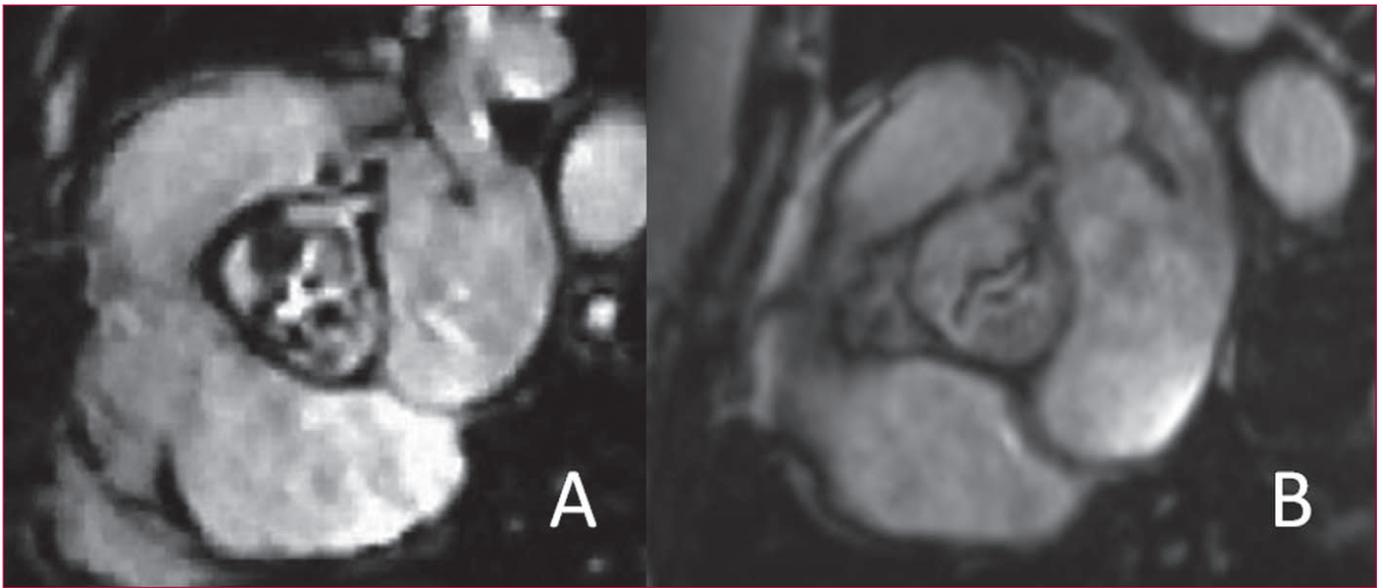
Actualmente, las secuencias de doble inversión-recuperación de *spin-eco* (turbo *spin-eco* o sangre negra) no son de primera elección en la evaluación de los pacientes con enfermedad valvular, pero en ocasiones pueden aportar información adicional valiosa. Las secuencias potenciadas en T1 pueden emplearse en conjunción con las secuencias SSFP para medir las dimensiones de los grandes vasos, y en conjunción con las secuencias potenciadas en T2 o de saturación grasa también son útiles para la caracterización tisular de las masas valvulares<sup>8</sup>. Finalmente, las secuencias de realce tardío son útiles para estudiar la presencia de trombos en aurícula o ventrículo y para estudiar la existencia de fibrosis miocárdica focal o infarto de miocardio<sup>9</sup>.

### Velocidad y flujos

La cuantificación de flujos es una de las informaciones únicas obtenidas mediante RMC. Ofrece numerosas ventajas con respecto a otros métodos de estudio: es una técnica no invasiva, cuantitativa, que permite cuantificar los flujos anterógrados y retrógrados en cualquier parte del cuerpo, cualquier vaso y cualquier ángulo sin exponer al paciente a radiación ionizante<sup>10</sup>.

Los protones en movimiento adquieren un desplazamiento en la fase de su *spin* rotacional que los diferencia de los protones en estado estacionario. La magnitud de esta fase es proporcional a la velocidad con que se desplazan. Esto es la base de las secuencias de contraste de fase, que son las utilizadas para visualizar y cuantificar, de una manera directa, velocidad y flujos, en cualquier plano y cualquier momento del ciclo cardíaco<sup>11</sup>. La información obtenida de las secuencias de contraste de fase genera dos tipos de imágenes: imágenes de magnitud, que reflejan la anatomía del plano, y mapas de velocidad o imágenes de fase, con información cuantitativa y direccional sobre los flujos. Se codifican las velocidades en cada vóxel. En este mapa, diferencias en la intensidad de la señal indican la dirección del flujo: brillante, cuando el flujo ocurre en la dirección en que se codifica; negro, cuando el flujo se opone a la dirección, y gris, cuando se trata de protones en estado estacionario. Además, el operador puede prescribir el plano de imagen: «en el plano», las velocidades se visualizan paralelas a la dirección del flujo, y «a través del plano», en las que el plano de la imagen es perpendicular a la dirección del flujo. Las imágenes «en el plano», en las que se muestra el origen y la dirección del *jet*, permiten planear la adquisición de los planos perpendiculares.

Hay una serie de cuestiones técnicas que se debe considerar a la hora de obtener un mapa de velocidades para mejorar la reproducibilidad y la precisión: en primer lugar, se requiere reducir el ruido ajustando el límite de velocidad tanto como sea posible a la velocidad máxima del flujo. Seleccionar un umbral de velocidad demasiado bajo puede inducir el fenómeno de *aliasing* y uno demasiado alto reduce la amplitud relativa del flujo y dificulta la interpretación de velocidades y flujos. Además, el plano de imagen debe ser perpendicular al vaso para garantizar que los vectores de velocidad de la mayoría de los vóxeles son perpendiculares al plano de imagen y evitar la mala alineación, que puede inducir subestimación de las velocidades pico. Finalmente, el plano de imagen no debe situarse a nivel de la válvula, sino distal o proximal al anillo, para evitar artefactos de movimiento<sup>12</sup>.



**Figura 1.** Imágenes de dos secuencias de precesión libre en estado estacionario en dos pacientes que demuestran estenosis aórtica en (A) una válvula tricúspide y (B) en una válvula bicúspide, en las que la planimetría permite visualizar y cuantificar la severidad de la lesión valvular.

## LA ESTENOSIS VALVULAR

En la valoración de las estenosis valvulares, la RMC emplea parámetros estándar: la velocidad máxima anterógrada, el gradiente de presión máximo y medio y el área valvular.

El área valvular anatómica se define como la planimetría del área que deja la apertura máxima de los velos valvulares. En RMC, la exactitud de la planimetría del área se basa en la visión directa del orificio valvular que permiten las características de las secuencias SSFP: alta relación señal/ruido y excelente contraste sangre-miocardio. En el caso de la válvula aórtica, la planimetría del área mediante RMC se ha validado en numerosos estudios publicados, que muestran excelente correlación entre esta y el área planimetrada mediante ecocardiografía transesofágica (ETE)<sup>13</sup>. Las válvulas bicúspides o la fusión de los velos aórticos de una válvula tricúspide se identifican obteniendo el plano preciso perpendicular a la cúpula de los velos valvulares (fig. 1).

Utilizando secuencias de contraste de fase, pueden registrarse velocidades de flujo sin límite y pueden medirse en cualquier dirección del espacio. La figura 2 muestra la metodología de cuantificación de velocidades máximas y gradientes en el caso de la estenosis valvular aórtica. Se adquieren dos proyecciones diferentes de cine de resonancia: una vista de tres cámaras y un plano frontal del tracto de salida ventricular izquierdo. Los flujos estenóticos son relativamente diferentes dependiendo de la proyección en la que se midan. Debemos obtener una tercera proyección perpendicular a la dirección del *jet*, en la vena contracta, y registrar el píxel con la velocidad más alta a este nivel, aplicando luego la ecuación de Bernoulli para calcular el gradiente. Como en el caso de la planimetría del área, también se ha encontrado una excelente correlación entre la RMC y la ecocardiografía Doppler en pacientes con estenosis mitral y aórtica<sup>14</sup>.

## INSUFICIENCIA VALVULAR

La severidad de la regurgitación es un factor determinante del pronóstico de los pacientes con insuficiencia valvular. La posibilidad de la RMC de cuantificar con precisión la regurgitación es una de sus principales ventajas sobre la ecocardiografía Doppler. Las secuencias de cine de RMC permiten valorar cualitativamente el chorro regurgitante. El patrón de flujo, debido a aceleración o a pérdida de homogeneidad en el flujo, se representa como un área de pérdida de señal (fig. 3). Aunque podemos establecer la severidad basándonos en la

extensión de la pérdida de señal, no debemos olvidar que la intensidad y la magnitud de la señal producida por la turbulencia dependen de diversos parámetros (tipo de secuencia, el tiempo de eco, etc.)<sup>15</sup>.

## Insuficiencia de las válvulas semilunares

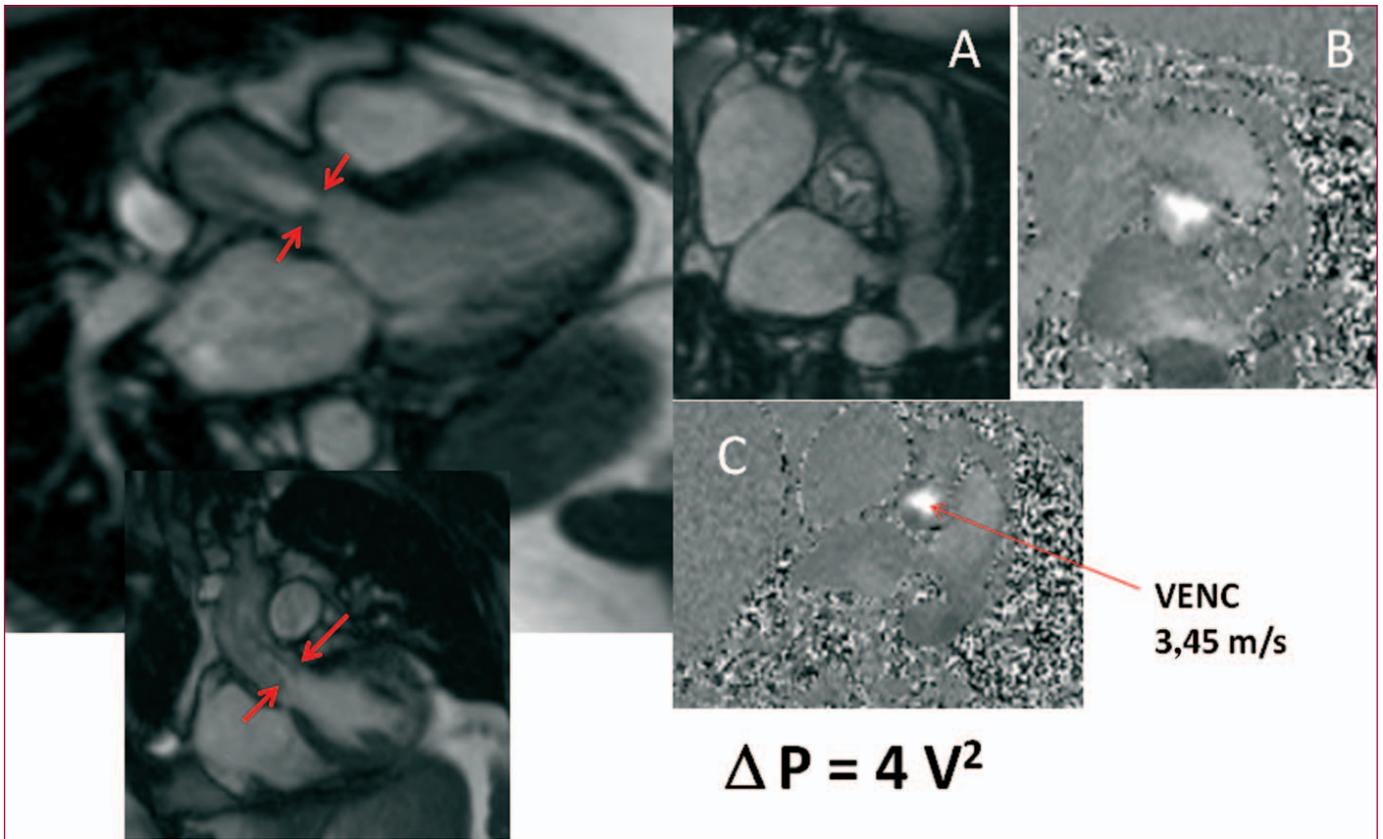
En el caso de la insuficiencia valvular, las secuencias de contraste de fase son particularmente útiles. Afortunadamente no sólo las velocidades, sino también los flujos, se pueden cuantificar con RMC a partir de imágenes «a través del plano» usando las velocidades de cada vóxel dentro de la región de interés. El flujo en cada una de las imágenes permite calcular el flujo instantáneo en ese momento del ciclo cardiaco. Integrando todas las imágenes a lo largo del ciclo cardiaco, cuantificamos el volumen de flujo/látido y el gasto cardiaco. Igualmente, integrando la sístole y la diástole separadamente, podemos calcular el flujo anterógrado y el flujo retrógrado generando curvas de flujo/tiempo (fig. 4). En el caso de las válvulas semilunares aórtica y pulmonar, la fracción regurgitante representa el volumen regurgitante calculado expresado como un porcentaje del flujo anterógrado<sup>13</sup>.

## Insuficiencia de las válvulas auriculoventriculares

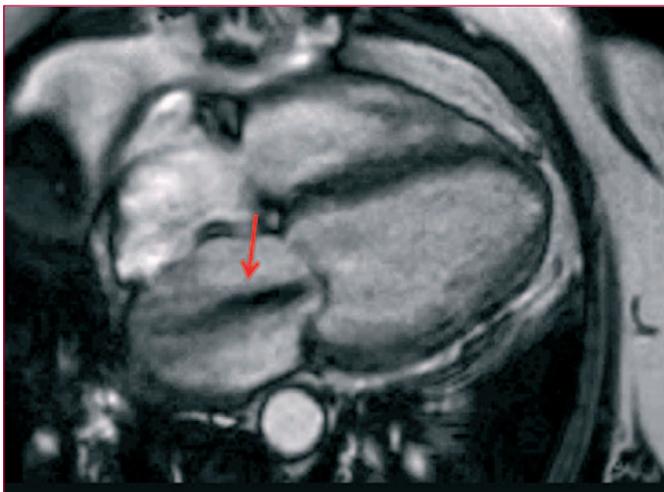
En lo que a ellas respecta (mitral y tricúspide), el principio para calcular el volumen regurgitante es simple: «el flujo que no circula hacia adelante, circula hacia atrás». La determinación del flujo anterógrado de los ventrículos izquierdo y derecho se realiza por método de volúmenes a partir de las secuencias de cine: se traza la planimetría de los bordes endocárdicos en pilas de cortes (multicorte) en eje corto desde el ápex a la base y se estiman los volúmenes telediastólicos y telesistólicos y el volumen látido en cada ventrículo. En condiciones normales y ausencia de cortocircuitos, el volumen látido calculado por planimetría debería ser igual al cuantificado por secuencias de contraste de fase en la aorta o la pulmonar, respectivamente. Si no lo es, la diferencia entre ambos es el volumen retrógrado o regurgitante<sup>16</sup>.

## APLICACIONES CLÍNICAS DE LA RMC EN LA ENFERMEDAD VALVULAR

Aunque la ecocardiografía, transtorácica y transesofágica, es una técnica consolidada y esencial en la evaluación, la monitorización y el proceso de toma de decisiones terapéuticas en casi todos los pacien-



**Figura 2.** A la derecha de la imagen, dos proyecciones de cine resonancia: tres cámaras (superior) y plano frontal del tracto de salida ventricular izquierdo (inferior). Las flechas muestran la vena contracta. Imágenes de cine (A) y contraste de fase (B) perpendiculares a la dirección del jet, mostrando la válvula aórtica y medida del píxel de mayor velocidad en la vena contracta (C).



**Figura 3.** Valoración semicuantitativa de la insuficiencia mitral. Demuestra la apariencia característica de pérdida de señal (flecha) en aurícula izquierda en imagen de cine.

tes con enfermedad valvular, la resonancia magnética cardiovascular es una modalidad de imagen relativamente nueva pero en continua evolución, que puede aportar valor añadido sobre otras técnicas en el diagnóstico no invasivo de los pacientes con lesiones valvulares significativas.

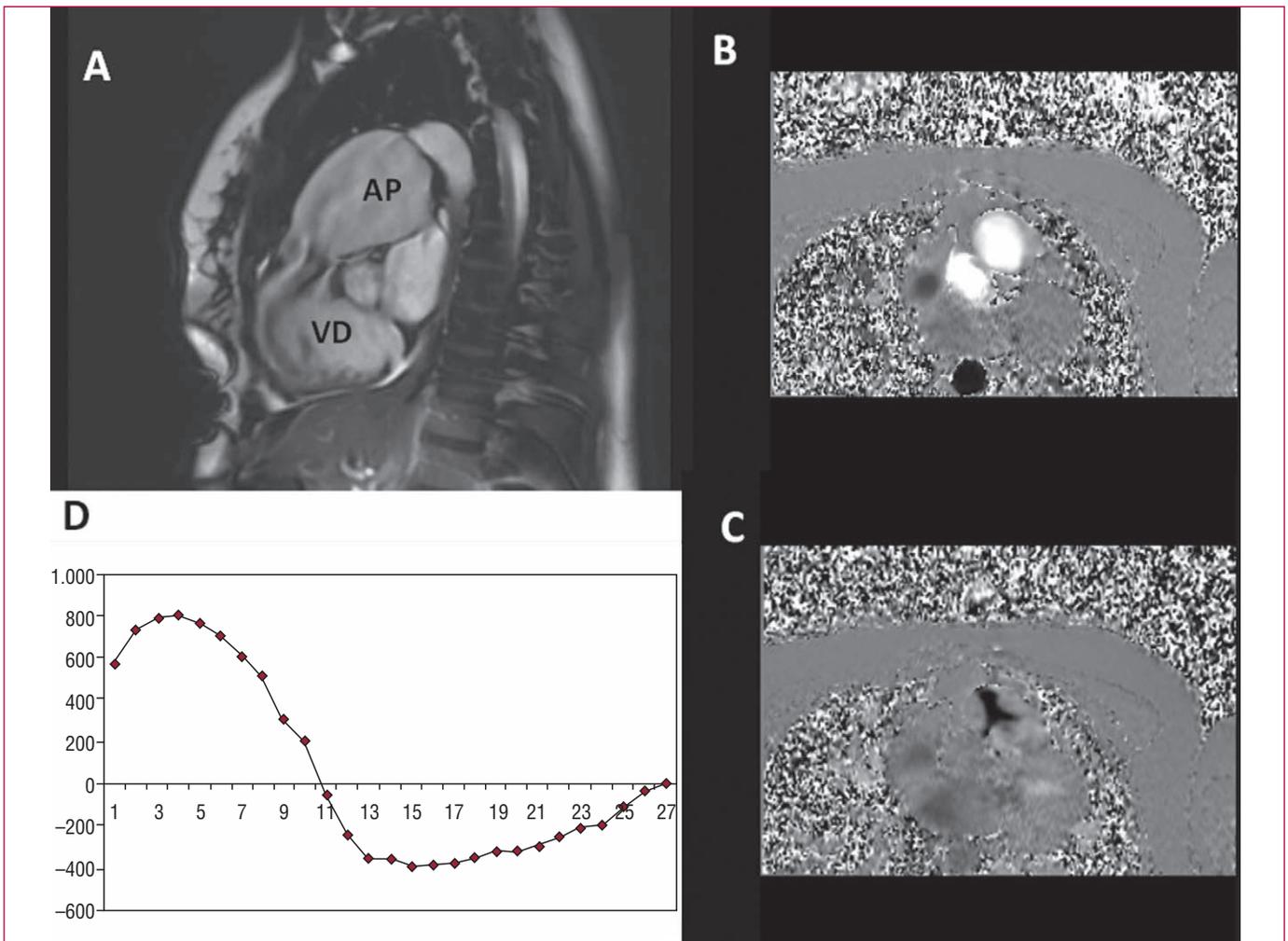
### Lesiones valvulares del corazón izquierdo

Hasta ahora, la RMC ha demostrado que tiene un papel en la cuantificación del tamaño y la función del ventrículo izquierdo en los casos en que la ventana ecocardiográfica no sea óptima para medir con pre-

cisión las dimensiones, particularmente en el caso de las insuficiencias aórtica y mitral. De hecho, las actuales guías de práctica clínica recomiendan, en esas condiciones, la evaluación de la función ventricular izquierda mediante RMC en la insuficiencia aórtica con un nivel de evidencia B y lo proponen en el caso de la insuficiencia mitral. E igualmente, las guías respaldan con un nivel de evidencia C el beneficio adicional de medir las dimensiones de la raíz de aorta y aorta ascendente mediante RMC en los pacientes con enfermedad valvular aórtica<sup>17</sup>. Sin embargo, recientemente han empezado a aparecer evidencias que confirman la importancia pronóstica de la cuantificación precisa de la severidad de las insuficiencias mitral y aórtica con RMC. Datos preliminares indican que el tamaño de la fracción y el volumen regurgitante en la insuficiencia aórtica tienen un impacto en el pronóstico a largo plazo (supervivencia y necesidad de cirugía) en pacientes asintomáticos mayor que la función y los volúmenes ventriculares izquierdos<sup>18</sup>. Por el momento, resulta interesante considerar el estudio con RMC en pacientes con insuficiencia mitral y aórtica en los que hay incertidumbre respecto a su severidad o en los que otras modalidades ofrecen resultados contradictorios.

En lo que respecta a las estenosis mitral y aórtica, la RMC no tiene un gran valor incremental sobre la ecocardiografía en el diagnóstico no invasivo de severidad. No obstante, puede ser de ayuda en los casos en que haya incertidumbre en el diagnóstico, particularmente en caso de estenosis aórtica degenerativa y bajo flujo o en pacientes con válvula aórtica bicúspide cuando es difícil alinear la válvula con la sonda transtorácica<sup>13</sup>.

Igualmente, es de destacar el papel de la RMC en la valoración de la aorta torácica, particularmente en los casos en que se sospecha aortopatía o coartación asociada a una válvula aórtica bicúspide (fig. 5). Las dimensiones pueden ser medidas con gran precisión mediante cine de resonancia con secuencias SSFP (en sístole y diástole), y los valores normales se han publicado recientemente<sup>19</sup>. No obstante, también la



**Figura 4.** Insuficiencia pulmonar severa aislada en una paciente de 28 años. Imagen de SSFP cine resonancia (A) del tracto de salida de ventrículo derecho obtenida en diástole. Las cúspides pulmonares no coaptan adecuadamente y se produce una regurgitación pulmonar prácticamente libre. Imagen de contraste de fase perpendicular al tracto de salida del ventrículo derecho en sístole (B) que muestra la apariencia de sangre «brillante» del flujo anterógrado. La imagen correspondiente en diástole (C) muestra un flujo retrógrado de apariencia «negra», que resulta en una fracción de regurgitación del 45% al trazar la curva de flujo vs tiempo (D). AP: arteria pulmonar; VD: ventrículo derecho.

angiorresonancia de aorta con gadolinio puede utilizarse si se requiere información adicional. En cuanto al paciente posquirúrgico, la RMC es particularmente útil para evaluar tubos valvulados o sustituciones de aorta ascendente por injertos tubulares.

Finalmente, hay datos sobre el papel coadyuvante de la RMC en el diagnóstico de la «miocardiopatía» que se asocia a la estenosis aórtica severa, aunque su aplicación clínica aún no está completamente definida. Hasta un tercio de los pacientes con estenosis aórtica pueden presentar fibrosis miocárdica parcheada en el estudio de realce tardío en las secuencias de doble inversión recuperación con gadolinio<sup>20</sup>. Este realce se localiza fundamentalmente en las áreas de máxima hipertrofia y presenta una distribución «no coronaria». Aunque estas áreas de fibrosis también se han descrito en estudios necrópsicos, su significado pronóstico aún es desconocido. Y en términos de función ventricular izquierda, la RMC permite cuantificar de manera precisa el incremento de la masa ventricular izquierda y, usando técnicas de marcación (*tagging*), anomalías de la relajación, reversibles ambas sustancialmente después de la cirugía de sustitución valvular aórtica<sup>21</sup>.

### Lesiones valvulares del corazón derecho

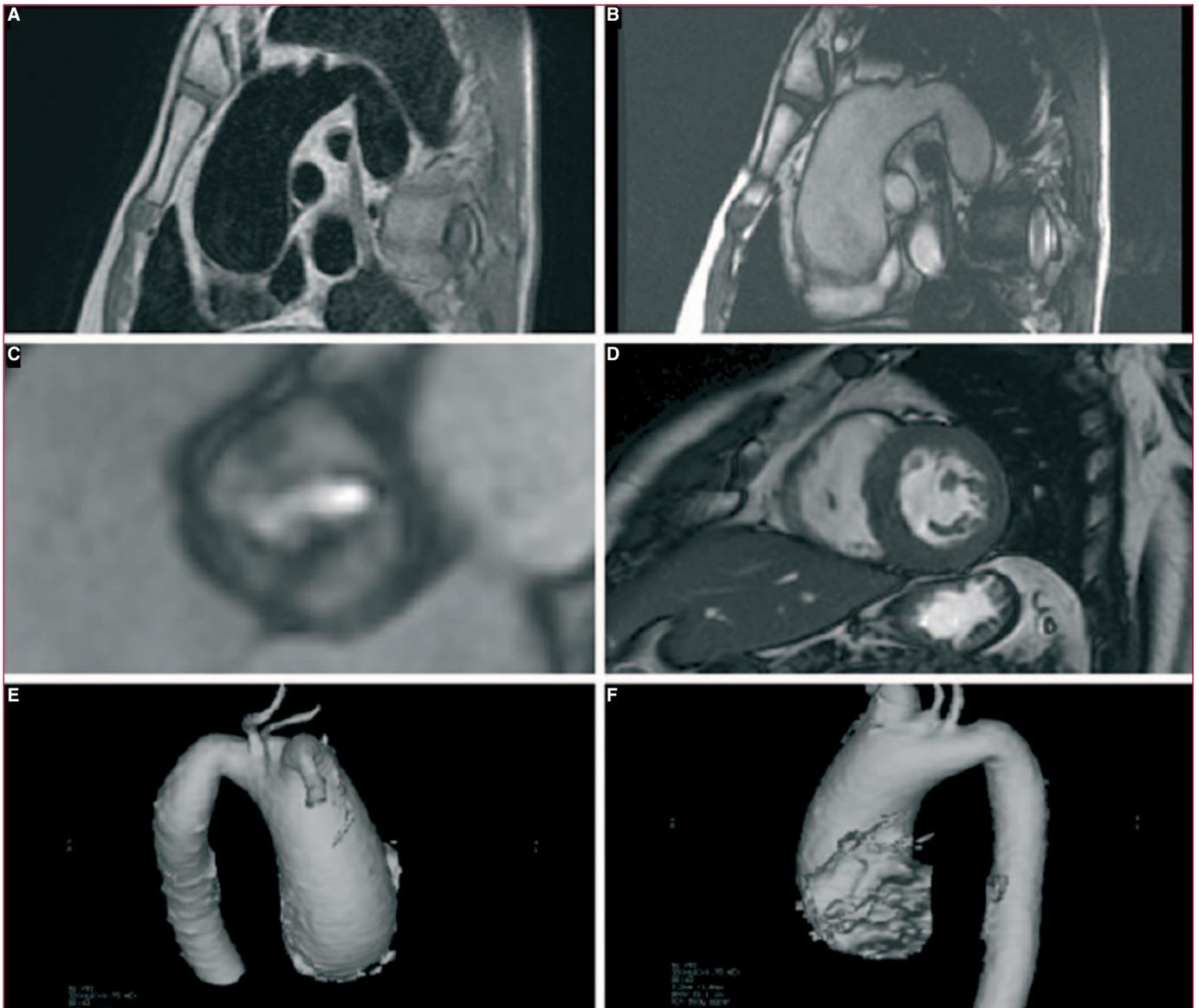
Aunque la resolución temporal y espacial de la ecocardiografía en términos absolutos es superior a la de la RMC, esta no depende de la ventana acústica del paciente y los planos de estudio posibles son ilimitados. Esta cualidad es particularmente útil en las lesiones del

corazón derecho, en especial en el estudio de la válvula pulmonar y de la función del ventrículo derecho. De hecho, la RMC es la técnica de elección en el diagnóstico y el seguimiento de la evolución natural y posquirúrgica de la mayor parte de las cardiopatías congénitas, principal etiología de la mayor parte de las lesiones de las válvulas tricúspide y pulmonar.

#### *Insuficiencia tricúspide*

En el caso de la válvula tricúspide, las secuencias SSFP se han empleado para describir sus anomalías morfológicas en condiciones tales como la anomalía de Ebstein (fig. 6)<sup>22</sup>, el síndrome carcinoide o la valvulopatía reumática.

La regurgitación valvular, como en el caso de la insuficiencia mitral, puede valorarse de manera semicuantitativa analizando la extensión de la pérdida de señal en la aurícula derecha mediante cine de RMC en las secuencias de gradiente eco, aunque en el caso de la válvula tricúspide existen importantes limitaciones inherentes a que las turbulencias y las velocidades son menores que en las lesiones del corazón izquierdo<sup>13</sup>. Sin embargo, en ausencia de otras lesiones, el volumen regurgitante puede cuantificarse restando el flujo valvular pulmonar, obtenido en el estudio con secuencias de contraste de fase al volumen latido del ventrículo derecho (calculado por método de volúmenes en secuencias de cine). Incluso el orificio regurgitante puede observarse en ocasiones mediante RMC.



**Figura 5.** Resonancia magnética cardíaca en un paciente con válvula aórtica bicúspide, estenosis severa, hipertrofia ventricular izquierda y dilatación de aorta ascendente. Secuencias de turbo spin eco potenciada en T1 (A) junto con secuencias SSFP (B) y angioresonancia (E y F) que permiten caracterizar y medir las dimensiones de los distintos segmentos de aorta y descartar la presencia de una coartación asociada.

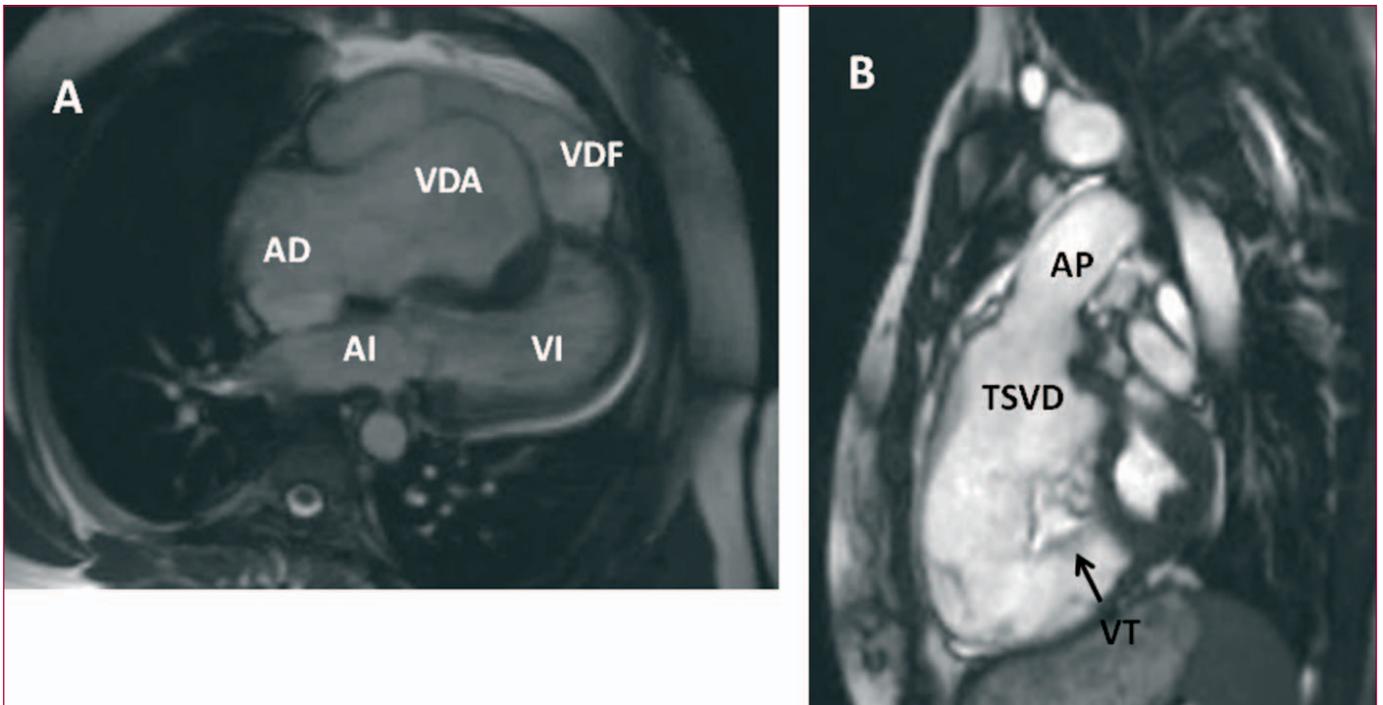
Sin embargo, al contrario que mediante la ecocardiografía Doppler, no pueden obtenerse con RMC las velocidades máximas de la insuficiencia de la válvula tricúspide y la presencia de hipertensión pulmonar debe sospecharse de manera indirecta, con base en la cuantificación de la masa del ventrículo derecho o en el característico movimiento del septo interventricular<sup>23</sup>.

Finalmente, la dilatación preoperatoria del ventrículo derecho en el caso de la insuficiencia de la válvula tricúspide se ha descrito como un determinante de la mortalidad posquirúrgica. En caso de anomalía de Ebstein, todos los estudios de historia natural y posquirúrgica disponibles hasta ahora se basan también en criterios ecocardiográficos, pero la función ventricular derecha puede ser difícil de valorar con ultrasonidos. Por el contrario, la resonancia es una técnica más exacta en la cuantificación de volúmenes y la fracción de eyección. Obviamente, la RMC cuantifica el tamaño de la porción atrializada del ventrículo derecho (que define la severidad de la malformación), pero además nos permite valorar adecuadamente la existencia de áreas de displasia, adelgazamiento o discinesia características de esta anomalía congénita. Recientemente, el análisis volumétrico del ventrículo basado en RMC ha demostrado que el ventrículo derecho funcional

está dilatado en todos los pacientes con anomalía de Ebstein que sobreviven de manera natural hasta la vida adulta y que esta dilatación se asocia con la severidad de la insuficiencia de la válvula tricúspide y con la clase funcional del paciente<sup>24</sup>. No obstante, ni el valor pronóstico ni las aplicaciones clínicas del análisis volumétrico del ventrículo derecho en la toma de decisiones clínicas en los pacientes con insuficiencia de la válvula tricúspide han sido definidos aún.

#### *Insuficiencia pulmonar*

La RMC tiene un papel indiscutible como líder en el estudio, la cuantificación y el seguimiento de los pacientes con insuficiencia de la válvula pulmonar, con grandes ventajas sobre las restantes modalidades de imagen. Es muy raro que esta lesión valvular se presente aislada, pero es extremadamente frecuente en los pacientes intervenidos de tetralogía de Fallot. En estos pacientes, son varios los factores que intervienen en la severidad de la lesión y todos ellos pueden estudiarse fácilmente con RMC: la válvula, la distensibilidad del ventrículo derecho y la resistencia vascular pulmonar. Muchos de ellos tienen buen pronóstico a largo plazo, pero en algunos, con insuficiencia



**Figura 6.** Resonancia magnética cardiaca en un paciente con anomalía de Ebstein. SSFP imágenes en cuatro cámaras (A) que muestra el desplazamiento apical del velo septal de la válvula tricúspide, las adherencias del velo anterior en la pared libre del VD, la magnitud de la porción atrializada del ventrículo derecho y el desplazamiento del septo en diástole hacia el VI. Imagen sagital del tracto de salida del ventrículo derecho (B) en sístole, en eje corto de la válvula tricúspide (flecha), mostrando su incompetencia. AD: aurícula derecha. AI: aurícula izquierda. AP: arteria pulmonar. TSVD: tracto de salida ventricular izquierdo. VDA: ventrículo derecho atrializado. VDF: ventrículo derecho funcional. VI: ventrículo izquierdo. VT: válvula tricúspide.

severa de la válvula pulmonar, pueden presentarse dilatación y disfunción del ventrículo derecho, causas de la morbilidad y la mortalidad tardías<sup>25</sup>. Así, si revisamos las recientemente publicadas guías de práctica clínica en el manejo de adultos con cardiopatías congénitas, observamos que, incluso en pacientes asintomáticos, existe una indicación clase IIa para la sustitución valvular pulmonar en pacientes con insuficiencia pulmonar severa y dilatación y disfunción ventricular derecha<sup>26</sup>. Por ello, es crucial cuantificar con precisión tanto la severidad de la regurgitación (volumen y fracción de regurgitación) como la función del ventrículo derecho (volúmenes telediastólico y telesistólico) y los volúmenes latidos del ventrículo derecho e izquierdo. En estos pacientes, la ecocardiografía tiene muchas limitaciones para observar la anatomía de la válvula pulmonar<sup>13</sup>. Además, la descripción de la severidad de la regurgitación y de las dimensiones y la función del ventrículo derecho son principalmente cualitativas. Estas limitaciones son superadas ampliamente por la RMC, y en la literatura hay mucha información sobre qué valores permiten clasificar la insuficiencia en ligera, moderada o severa dependiendo del volumen regurgitante, la fracción de regurgitación, los volúmenes ventriculares y la fracción de eyección<sup>27</sup>. En la mayor parte de ellos, el valor de corte que identifica la insuficiencia severa (> 40%)<sup>28</sup> es menor que en el caso de la insuficiencia aórtica (> 50%) porque, en condiciones normales, en el lecho pulmonar, al contrario que en el sistémico, no existe flujo protodiastólico retrógrado. Esto es así porque el árbol vascular pulmonar se comporta como una válvula.

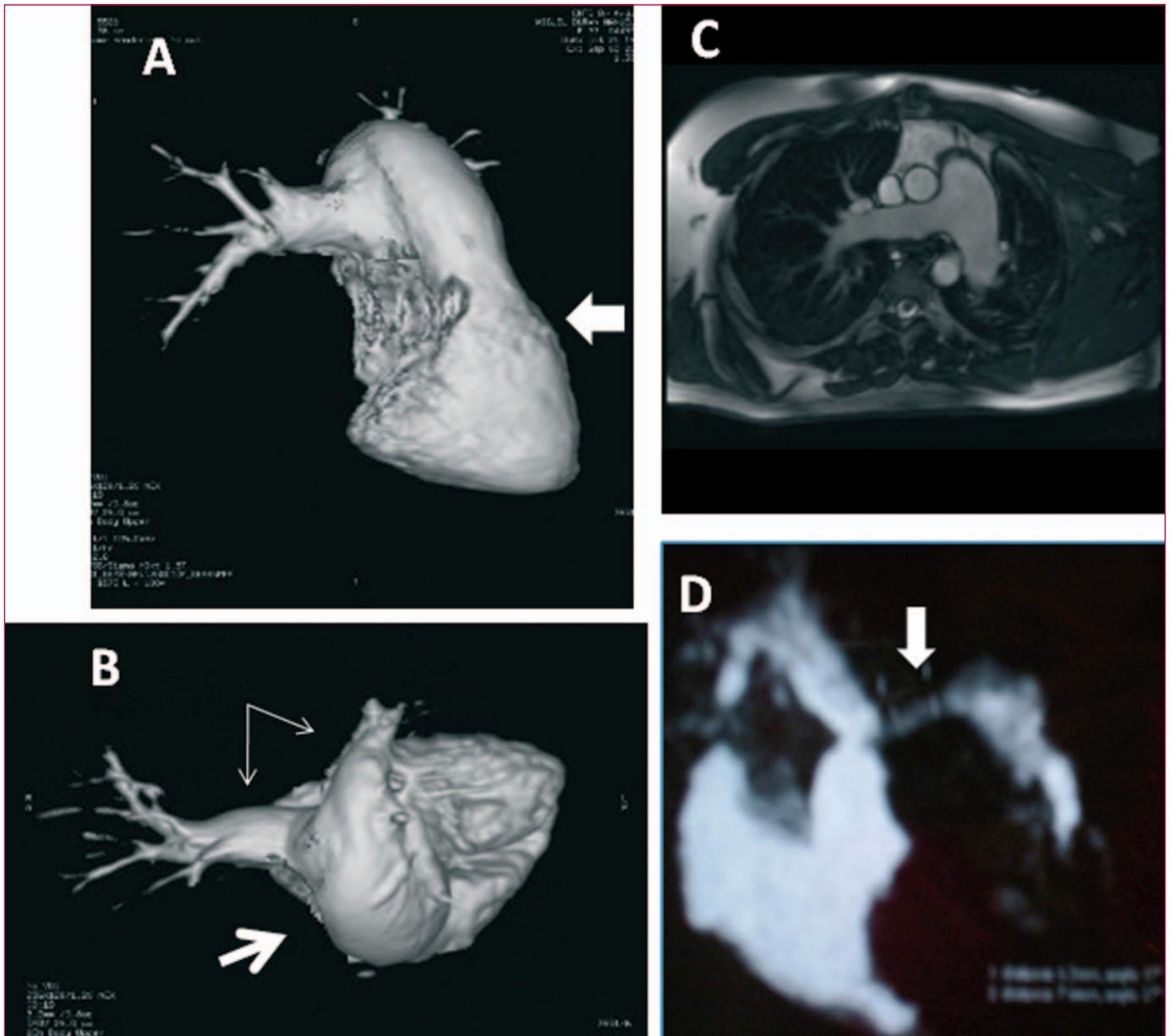
En cuanto a la función y las dimensiones del ventrículo derecho, los valores normales en niños y adultos se han definido recientemente, y además con gran reproducibilidad. Si revisamos los valores disponibles en la literatura en adultos normales y niños, en pacientes con tetralogía de Fallot y en pacientes con cardiopatías congénitas en general, observamos que la variabilidad entre estudios, entre observadores e intraobservador para la medida del volumen telediastólico y de la fracción de eyección son < 5% y para la masa ventricular, < 10%. Para el volumen telesistólico, esta variabilidad es algo mayor (> 10%), puesto que la definición de los contornos en sístole es

más difícil<sup>29</sup>. Esta bondad de la RMC en la valoración del ventrículo derecho es lo que ha hecho que se convierta en la modalidad de imagen de elección a la hora de tomar decisiones clínicas. Así, en adultos con insuficiencia pulmonar crónica severa tras reparación de una tetralogía de Fallot, varios estudios han demostrado que diversos puntos de corte del volumen telediastólico, e incluso telesistólico, ventricular derecho obtenidos mediante RMC tienen valor pronóstico para predecir remodelado inverso después de la sustitución de la válvula pulmonar<sup>30</sup>.

La RMC también ofrece información adicional que puede ser de interés en la insuficiencia pulmonar. Como en el caso de la insuficiencia aórtica, el estudio de los grandes vasos es fundamental en estos pacientes. Tanto las secuencias de cine de resonancia como las secuencias de contraste de fase o la angiorresonancia magnética nos informan sobre la pulsatilidad y la distensibilidad del árbol vascular pulmonar, sobre la presencia y la severidad de las estenosis de ramas pulmonares y sobre la morfología del tracto de salida del ventrículo derecho, frecuentemente modificado quirúrgicamente (fig. 7). Finalmente, el estudio de la fibrosis miocárdica puede ser útil en la estratificación del riesgo de arritmias ventriculares. La fibrosis miocárdica parcheada detectada en el estudio de realce tardío con gadolinio se ha relacionado de manera significativa con QRS ancho, menor fracción de eyección, mayores volúmenes, intolerancia al ejercicio, activación neurohormonal y arritmias ventriculares<sup>31</sup>.

## CONCLUSIONES

La RMC es una modalidad de imagen que permite realizar una valoración no invasiva integrada de todos los aspectos de la enfermedad valvular. Aporta valor añadido sobre la ecocardiografía en la cuantificación directa de flujos en las insuficiencias valvulares, en la exactitud diagnóstica de la medida de las dimensiones y la función ventricular, en la visualización de la fibrosis miocárdica y en el estudio de las estructuras extracardíacas (aorta y pulmonar). Al contrario que en las lesiones valvulares del corazón izquierdo, ofrece informa-



**Figura 7.** Estudio del tracto de salida ventricular izquierdo, la arteria pulmonar y ramas en varios pacientes con insuficiencia pulmonar de diferentes etiologías. Imágenes de angiografía magnética que muestran (A) un tracto de salida ventricular derecho normal (flecha gruesa) y (B) dilatación aneurismática del tronco pulmonar (flecha gruesa) con ramas pulmonares de dimensiones normales (flechas finas). SSFP imágenes en cine resonancia (C) y angiografía magnética que nos informa sobre la presencia y severidad de las estenosis de ramas pulmonares (flecha) y sobre la morfología del tracto de salida del ventrículo derecho, frecuentemente modificado quirúrgicamente (D).

ción con valor pronóstico y tiene impacto en las decisiones terapéuticas en la insuficiencia tricuspídea y, principalmente, en la insuficiencia pulmonar.

#### AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Marinela Chaparro Muñoz, del Hospital Universitario Virgen Macarena de Sevilla, por su ayuda en la elaboración del manuscrito. A las Dras. Sonia Bartolomé y Sylvia Chen, del Hospital Royal Brompton de Londres, por su contribución a mi aprendizaje de la técnica.

#### CONFLICTO DE INTERESES

Ninguno.

#### BIBLIOGRAFÍA

1. Nkomo VT, Gardin JM, Skelton TN, Gottdiener J, Scott C, Enriquez-Sarano M. Burden of valvular heart disease: a population based study. *Lancet*. 2006;368:1005-11.
2. Alkadhi H, Desbiolles L, Husmann L, Plass A, Leschka S, Scheffel H, et al. Aortic regurgitation: assessment with 64-section CT. *Radiology*. 2000;245:111-21.
3. Segal J, Lerner DJ, Miller DC, Mitchell RS, Alderman EA, Popp RL. When should Doppler determined valve area be better than the Gorlin formula? Variation in hydraulic constants in low flow states. *J Am Coll Cardiol*. 1987;9:1294-305.
4. Schlosser T, Malyar N, Jochims M, Breuckmann F, Hunold P, Bruder O, et al. Quantification of aortic valve stenosis in MRI: comparison of steady state free precession and fast low angle shot sequences. *Eur Radiol*. 2007;17:1284-90.
5. Masci PG, Dymarkowski S, Bogaert J. Valvular heart disease: what does cardiovascular MRI add? *Eur Radiol*. 2008;18:197-208.
6. Pennel DJ. Ventricular volume and mass by CMR. *J Cardiovasc Magn Reson*. 2002;4:507-13.
7. Stork A, Franzen O, Ruschewski H, Detter C, Mullerleile K, Bansmann PM, et al. Assessment of functional anatomy of the mitral valve in patients with mitral regurgitation with cine magnetic resonance imaging: comparison with

- transesophageal echocardiography and surgical results. *Eur Radiol.* 2007;17:3189-98.
8. Wintersperger BJ, Becker CR, Gulbins H, Knez A, Bruening R, Heuck A, et al. Tumors of the cardiac valves: imaging findings in magnetic resonance imaging, electron beam computed tomography and echocardiography. *Eur Radiol.* 2000;10:443-9.
  9. Kim RJ, Shah DP, Judd RM. How we perform delayed enhancement imaging. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2003;5:505-14.
  10. Saloner D. Flow and motion. *Magn Reson Imaging Clin North Am.* 1999;7:699-715.
  11. Kilner PJ, Gatehouse PD, Firmin DN. Flow measurement by magnetic resonance: a unique asset worth optimizing. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2007;9:1-6.
  12. O'Brien KR, Myerson SG, Cowan BR, Young AA, Robson MD. Phase contrast ultrashort TE: a more reliable technique for measurement of high velocity turbulent stenotic jets. *Magn Res Med.* 2009;62:626-36.
  13. Cawley PJ, Maki JH, Otto CM. Cardiovascular magnetic resonance imaging for valvular heart disease. Technique and validation. *Circulation.* 2009;119:468-78.
  14. Kupfahl C, Honold M, Meinhardt G, Vogelsberg H, Wagner A, Mahrholdt H, et al. Evaluation of aortic stenosis by cardiovascular magnetic resonance imaging: comparison with established routine clinical techniques. *Heart.* 2004;90:893-901.
  15. Suzuki J, Caputo GR, Kondo C, Higgins CB. Cine MR imaging of valvular heart disease: display and imaging parameters affect the size of the signal void caused by valvular regurgitation. *AJR Am J Roentgenol.* 1990;155:723-7.
  16. Chan KMJ, Wage R, Synnmonds K, Rahman-Hayley S, Mohiaddin RA, Firmin DN, et al. Towards comprehensive assessment of mitral regurgitation using cardiovascular magnetic resonance. *J Cardiovasc Magn Reson.* 2008;10:61-8.
  17. 2008 Focused update incorporated into the ACC/AHA 2006 guidelines for the management of patients with valvular heart disease. *J Am Coll Cardiol.* 2008;52:e1-142.
  18. Christiansen JP, Edwards C, Armstrong G, Patel H, Scott T, Hart H. Quantitative evaluation of aortic regurgitation in asymptomatic patients using CMR predicts long-term outcome. *Heart Lung Circ.* 2009;18 Suppl 12:S5-6.
  19. Burman ED, Keegan J, Kilner PJ. Aortic root measurement by cardiovascular magnetic resonance: specification of planes and lines of measurement and corresponding normal values. *Circ Cardiovasc Imaging.* 2008;1:104-13.
  20. Debi K, Djavidani B, Buchner S, Lipke C, Nitz W, Feuerbach S, et al. Delayed hyperenhancement in magnetic resonance imaging of left ventricular hypertrophy caused by aortic stenosis and hypertrophic cardiomyopathy: visualization of focal fibrosis. *Heart.* 2006;92:1447-51.
  21. Götte MJW, Germans T, Rüssel IK, Zwanenburg JJM, Marcus JT, Van Rossum AC, et al. Myocardial strain and torsion quantified by cardiovascular magnetic resonance tissue tagging studies in normal and impaired left ventricular function. *J Am Coll Cardiol.* 2006;48:2002-11.
  22. Cantinotti M, Bell A, Razavi R. Role of magnetic resonance imaging in different ways of presentations of Ebstein's anomaly. *J Cardiovasc Med.* 2008;9:628-30.
  23. Saba TS, Foster J, Cockburn M, Cowan M, Peacock AJ. Ventricular mass index using magnetic resonance imaging accurately estimates pulmonary artery pressure. *Eur Respir J.* 2002;20:1519-24.
  24. Bouzas B, Kilner PJ, Pijuan A, Uebing A, Babu-Narayan S, Li W, et al. Assessment of Ebstein anomaly by cardiovascular magnetic resonance. *Eur Heart J.* 2007;28 Suppl:99.
  25. Murphy JG, Garsh BJ, Mair DD, Fuster V, McGoon MD, Ilstrup DM, et al. Long-term outcome in patients undergoing surgical repair of tetralogy of Fallot. *N Engl J Med.* 1993;329:593-9.
  26. Baumgartner H, Bonhoeffer P, De Groot NM, De Haan F, Deanfield JE, Galie N, et al; Task Force on the Management of Grown-up Congenital Heart Disease of the European Society of Cardiology (ESC). ESC guidelines for the management of grown-up congenital heart disease (new version 2010). *Eur Heart J.* 2010;31:2915-57.
  27. Wald R, Redington AN, Pereira A, Provost YL, Paul NS, Oechslin EN, et al. Refining the assessment of pulmonary regurgitation in adults after tetralogy of Fallot repair: should we be measuring regurgitant fraction or regurgitant volume? *Eur Heart J.* 2009;30:356-1.
  28. Rebergen SA, Chin JG, Ottencamp J, Van del Wall EE, De Roos A. Pulmonary regurgitation in the late postoperative follow-up of tetralogy of Fallot. Volumetric quantification by nuclear magnetic resonance velocity mapping. *Circulation.* 1993;88:2257-66.
  29. Luijnenburg SE, Robbers-Visser D, Moelker A, Vliegen HW, Mulder BJ, Helbing WA. Intra-observer and interobserver variability of biventricular function, volumes and mass in patients with congenital heart disease measured by CMR imaging. *Int J Cardiovasc Imaging.* 2010;26:57-64.
  30. Oosterhof T, Van Straten A, Vliegen HW, Meijboom FJ, Van Dijk AP, Spijkerboer AM, et al. Preoperative thresholds for pulmonary valve replacement in patients with corrected tetralogy of Fallot using cardiovascular magnetic resonance. *Circulation.* 2007;116:545-51.
  31. Babu-Narayan SV, Kilner PJ, Li W, Moon JC, Goktekin O, Davlouros PA, et al. Ventricular fibrosis suggested by cardiovascular magnetic resonance in adults with repaired tetralogy of Fallot and its relationship to adverse markers of clinical outcome. *Circulation.* 2006;113:405-13.