



Artículo de Revisión

Agresión mitral reumática. Utilidad de la ecocardiografía transesofágica 3D

Kelly Cupe-Chacalcaje^{1,a}, Lindsay Benites-Yshpilco^{1,b}, Angela Cachicatari-Beltrán^{1,a}, Dante Urdanivia-Ruiz^{1,a}, Eliana Rafael-Horna^{1,a}, Paol Rojas^{1,a}, Gerald Lévano-Pachas^{1,a}, Roberto Baltodano-Arellano^{1,2,a,c}

Recibido: 20 de mayo de 2022.
Aceptado: 28 de junio de 2022.

Filiación de los autores

- ¹ Hospital Nacional Guillermo Almenara. Lima Perú.
² Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima, Perú.
^a Médico cardiólogo.
^b Médico residente de Cardiología.
^c Catedrático.

*Correspondencia

Galeón 150-203 San Borja, Lima, Perú.
+51 996723803

Correo

rbaltodano@unmsm.edu.pe

Fuente de financiamiento
Autofinanciado.

Conflicto de intereses

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés relevante.

Citar como:

Cupe-Chacalcaje K, Benites-Yshpilco L, Cachicatari-Beltrán A, Urdanivia-Ruiz D, Rafael-Horna E, Rojas P, et al. Agresión mitral reumática. Utilidad de la ecocardiografía transesofágica 3D. Arch Peru Cardiol Cir Cardiovasc. 2022;3(2):98-111. doi: 10.47487/apcyccv.v3i2.211.



Esta obra tiene una licencia de Creative Commons Atribución 4.0 Internacional

RESUMEN

La cardiopatía reumática es la causa líder de enfermedad cardiovascular en menores de 25 años en el mundo, con una mayor prevalencia en países de bajos ingresos. El hallazgo habitual y distintivo de agresión reumática es la estenosis mitral, lo cual conlleva a graves consecuencias cardiovasculares. Las guías internacionales establecen la ecocardiografía transtorácica (ETT) como prueba diagnóstica de la cardiopatía reumática; sin embargo, presenta limitaciones en la medición de la planimetría y las inherentes al *Doppler*. La ecocardiografía transesofágica 3D (ETE-3D) es una novel modalidad que muestra imágenes realísticas de la válvula mitral y que presenta como valor agregado el localizar con precisión el plano de máxima estenosis y determinar mejor el compromiso comisural.

Palabras clave: Cardiopatía Reumática; Válvula Mitral; Estenosis de la Válvula Mitral; Ecocardiografía Transesofágica (fuente: DeCS BIREME).

ABSTRACT

Rheumatic mitral aggression. Usefulness of 3D transesophageal echocardiography

Rheumatic heart disease is the leading cause of cardiovascular disease in young adults under 25 years of age worldwide, with the highest prevalence in low-income countries. The usual and distinctive finding of rheumatic aggression is mitral stenosis, which leads to serious cardiovascular consequences. International guidelines establish transthoracic echocardiography (TTE) as the diagnostic test for rheumatic heart disease; however, it has limitations in the measurement of planimetry and those inherent to Doppler. Transesophageal 3D echocardiography (TTE-3D) is a new modality that shows realistic images of the mitral valve and has the added value of accurately locating the plane of maximum stenosis and better determining commissural involvement.

Keywords: Rheumatic Heart Disease; Mitral Valve; Mitral Valve Stenosis; Echocardiography, Transesophageal (source: MeSH NLM).

Introducción

La fiebre reumática es, hoy en día, la causa más común de enfermedad cardiovascular en menores de 25 años teniendo como manifestación habitual la estenosis mitral⁽¹⁾. Prácticamente erradicada en países de altos ingresos, la enfermedad se concentra en países en vías de desarrollo debido, principalmente, a inadecuadas condiciones sanitarias⁽¹⁻³⁾. Con una prevalencia mundial de 15 millones de pacientes con cardiopatía reumática, se estima que anualmente aparecen cerca de 300 000 casos nuevos, mientras que el número de fallecimientos anuales alcanza los 233 000⁽⁴⁾.

La prueba diagnóstica de cardiopatía reumática es la ecocardiografía^(5,6), y justamente fue esta enfermedad una de las primeras en estudiarse en los albores de esta técnica. Edler *et al*, en el afán por determinar de forma no invasiva la insuficiencia mitral en pacientes con estenosis mitral reumática, encontraron en la aplicación del modo M del ultrasonido la solución y, de esa forma, sin imaginárselo, descubrieron la herramienta diagnóstica no invasiva más poderosa de la cardiología⁽⁷⁾. Gracias al avance tecnológico, hoy en día es posible visualizar la válvula mitral de forma realística tal cual la observa el cirujano en campo operatorio mediante la utilización de la ETE-3D⁽⁸⁾.

El objetivo de esta revisión es describir la utilidad de la ETE-3D en el estudio de la agresión reumática mitral y mostrar su aplicación en una serie de casos clínicos.

Fisiopatología de la estenosis mitral

La valvulitis reumática originada en la infancia es producto de procesos inmunológicos tipo reacción cruzada, debido a las similitudes estructurales de proteínas de la válvula nativa con los antígenos estreptocócicos (mimetismo molecular)⁽⁹⁾. El *continuum* inflamatorio en el complejo mitral produce cambios degenerativos progresivos caracterizados por engrosamiento, esclerosis y calcificación del aparato valvular lo cual ocasiona, en etapas avanzadas predominantemente, obstrucción en el flujo sanguíneo hacia el ventrículo izquierdo.

La consiguiente elevación de presiones en la aurícula izquierda incrementa el gradiente transmitral para mantener el llenado ventricular. La transmisión pasiva de presiones hacia las venas pulmonares y capilar pulmonar promueve el incremento de las presiones de la arteria pulmonar, que en el tiempo originará cambios estructurales en el árbol pulmonar llevando a hipertensión pulmonar fija, la segunda estenosis⁽¹⁰⁾. Esta condición favorece una menor congestión a expensas de una reducción del gasto cardíaco con las consecuencias clínicas que ello implica. Asimismo, la poscarga incrementada para el ventrículo derecho origina su remodelamiento que, en fases avanzadas, conlleva a perpetuar el ciclo de falla derecha – regurgitación tricúspidea⁽¹¹⁾.

Ecocardiografía transtorácica 2D en la estenosis mitral

La afectación reumática mitral se inicia con el engrosamiento de los bordes libres valvares, lo cual es progresivo hacia las bases, llevando en fases posteriores a deformar la valva anterior en forma de palo de *hockey* mientras que la valva posterior se torna rígida^(12,13). La vista paraesternal eje largo muestra tales hallazgos, incluyendo las alteraciones cordales que se inician en la unión valvar y progresan a músculos papilares. En el abordaje paraesternal eje corto, el plano mitral es de vital importancia, pues muestra la fusión comisural con apertura en boca de pez, distintivo de agresión reumática⁽⁵⁾. Asimismo, nos permite precisar el área de apertura por planimetría, el cual es el Gold Standard para medir el área de estenosis, dado que no es influenciado por confusores presentes en métodos basados en el *Doppler*⁽¹¹⁾.

La estimación de severidad por valoración *Doppler*, como la gradiente transmitral y el tiempo de hemipresión, están sujetos a variaciones ocasionadas por el flujo sanguíneo, y la frecuencia cardíaca; adicionalmente, la segunda se afecta por *Compliance* reducida⁽¹⁴⁾, por ejemplo, los puntos de corte de gradiente transmitral para determinar severidad son aplicables solo en frecuencia cardíaca entre 60 y 80 latidos por minuto, pues mayores frecuencias sobreestimarán la severidad⁽¹⁵⁾.

La ETT tiene un rol esencial en el diagnóstico de la estenosis mitral reumática, en la determinación de severidad y en la obtención de *scores* útiles para la indicación de valvuloplastia percutánea^(16,17). Desafortunadamente tiene limitaciones como el riesgo de imprecisión para encontrar el plano de mayor estrechez mitral, los confusores del *Doppler* y la baja reproducibilidad de los *scores* de valoración de valvuloplastia por ser estos semicuantitativos⁽⁵⁾.

Exploración transesofágica 3D de la agresión mitral

Indudablemente la ecocardiografía transesofágica (ETE) es la técnica de imagen que brinda la más alta resolución espacial de la válvula mitral, debido a la mayor frecuencia de transmisión, proximidad del transductor y al plano de mejor recepción de insonación de ultrasonido que se encuentra la válvula mitral⁽¹⁸⁾. Precisamente, el barrido de 0 a 120 grados en el nivel medio esofágico asegura la exploración en detalle de los festones anteriores y posteriores, dando cuenta de su anatomía y funcionalidad. La ETE-2D está indicada en presencia de imágenes transtorácicas técnicamente limitadas y en la valoración de valvuloplastia percutánea, para determinar severidad de la regurgitación mitral y presencia de trombos en orejuela izquierda⁽⁶⁾. Sin embargo, carece de valor agregado en el estudio de la estenosis mitral.

El avance tecnológico promovió el desarrollo del transductor matricial, constituida por más de 3000 cristales piezoeléctricos (modo M de cristal único) que, junto a potentes procesadores, favorecieron el desarrollo de la ecocardiografía tridimensional en tiempo real. La incorporación de la tecnología 3D en la sonda transesofágica optimizó la valoración de la válvula mitral, al superar en calidad de imagen y resolución a la ETT-3D⁽¹⁹⁾. De esta forma, la ETE-3D prevé imágenes realísticas de la válvula mitral, demuestra en detalle valvas y comisuras y, finalmente, permite obtener una planimetría mitral en la máxima estenosis⁽¹⁸⁾. Estas cualidades hacen de esta modalidad una excelente elección para la planeación quirúrgica y la intervención percutánea⁽¹⁹⁾.

Adquisición de imagen

La adquisición volumétrica transesofágica se realiza en el nivel medioesofágico en una vista entre 0 y 120 donde las valvas mitrales se disponen en el plano más horizontal, exactamente perpendicular al ultrasonido, asegurando de esa forma la máxima resolución espacial. Los modos de adquisición, volumen a latido único o a múltiples latidos tienen los beneficios y vicios inherentes a ellos. El primero factible tanto en ritmo sinusal como en fibrilación auricular, sin embargo, evidencia limitaciones en las resoluciones temporal y espacial, mientras que el segundo puede alcanzar altas resoluciones, pero su aplicación requiere un ritmo cardíaco regular y control respiratorio⁽²⁰⁾.

Planimetría

La medición del área valvular mitral es determinante en el manejo de la estenosis mitral reumática, y es el método recomendado dado que es independiente de la hemodinamia⁽¹²⁾. A diferencia de la planimetría transtorácica 2D, que usualmente sobreestima al área de apertura mitral, la planimetría obtenida a partir de la ETE-3D con la herramienta reconstrucción multiplanar identifica con exactitud la parte más estrecha del orificio valvular mitral haciéndolo, además, con baja variabilidad intra e interobservador^(18,21,22). Debido a ello, algunos investigadores la consideran el *Gold Standard*⁽²³⁾. Una ventaja adicional de la ETE-3D es la factibilidad para hacer

la planimetría de la apertura mitral, la cual es superior que la ETT-2D (95% vs 60%)⁽¹⁸⁾.

Estudio de comisuras

La visualización privilegiada de las comisuras mitrales en la agresión reumática constituye la principal ventaja de la ETE-3D en comparación con los estudios en 2D⁽¹⁸⁾. Esta valoración es posible en los todos los pacientes estudiados con ETE-3D, a diferencia de la ETT-2D que en el 40% de pacientes no se logra visualizar por completo las comisuras. Adicionalmente, la ETT-2D subestima el grado de fusión comisural en el 19% de casos cuando se compara con la ETE-3D⁽²⁴⁾. Dado que la separación de comisuras en la valvuloplastia es el principal mecanismo que incrementa la apertura mitral, su visualización óptima con ETE 3D podría ser superior a técnicas 2D en predecir resultados de valvuloplastias con balón^(18,25).

A continuación, presentamos diez casos clínicos ilustrados de pacientes con estenosis mitral reumática que muestran la utilidad de la ETE 3D (**Figuras 1 a 10, videos 1 a 27**).

Conclusiones

La fiebre reumática es una enfermedad aún prevalente en países de bajos ingresos como el nuestro. La ecocardiografía es la prueba diagnóstica de la cardiopatía reumática, no obstante, su desarrollo en la modalidad ETE 3D ha permitido mostrar la agresión mitral con alto realismo, similar a la visualización del cirujano en campo operatorio. La presentación comisural privilegiada y la planimetría de la estenosis mitral constituyen el valor agregado de la ETE 3D, convirtiéndola en una herramienta útil para la planeación de la intervención percutánea o quirúrgica.

Participación de autores

KCC, RBA: concepción, recolección de datos, análisis, redacción, aprobación final. LBY: recolección de datos, análisis, redacción. ACB: recolección de datos, análisis, redacción, aprobación final. DUR, ERH, PR: recolección de datos, análisis, redacción. GLP: logística, redacción.

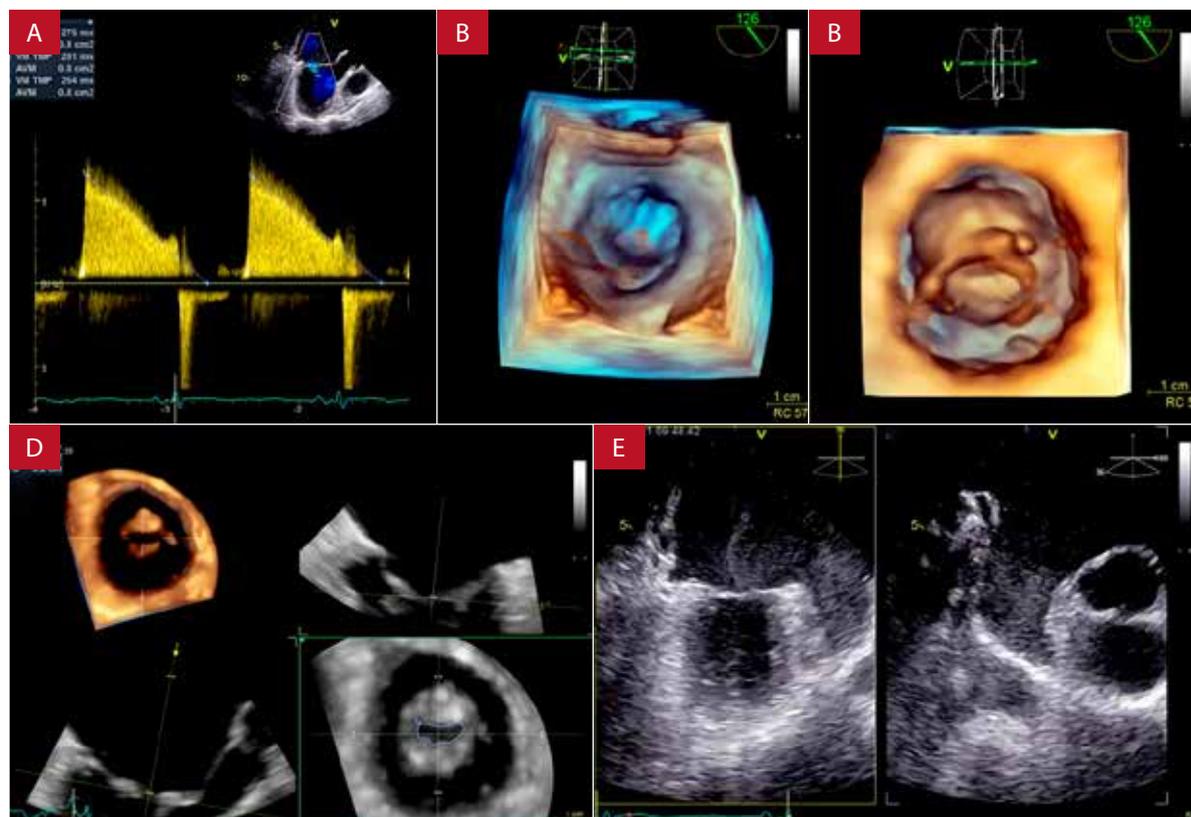


Figura 1. Caso 1: Mujer de 57 años con disnea y palpitaciones. Accidente cerebrovascular reciente con secuelas. La evaluación neurológica determinó afasia de expresión. Sin terapia anticoagulante previa. **(A)** Utilizando *Doppler*, el área de apertura mitral por tiempo de hemipresión fue calculada en 0,8 cm². **(B)** ETE-3D con adquisición del volumen en un ciclo cardíaco. La válvula mitral en face muestra apertura muy limitada con engrosamiento de los velos y anillo, fusión parcial bicomisural, además de contraste espontáneo **(Video 1)**. **(C)** Imagen 3D de la válvula mitral vista desde el ventrículo izquierdo evidencia abombamiento y engrosamiento bivalvar a predominio del velo anterior y engrosamiento de las cuerdas tendíneas, todo ello impide ver el orificio de apertura mitral **(Video 2)**. **(D)** Reconstrucción multiplanar determina el área de apertura mitral en 0,5 cm². **(E)** Imágenes ortogonales (factible con sonda volumétrica) de la orejuela izquierda determinando su morfología de bolsa de viento y su contenido de abundante contraste espontáneo **(Video 3)**.

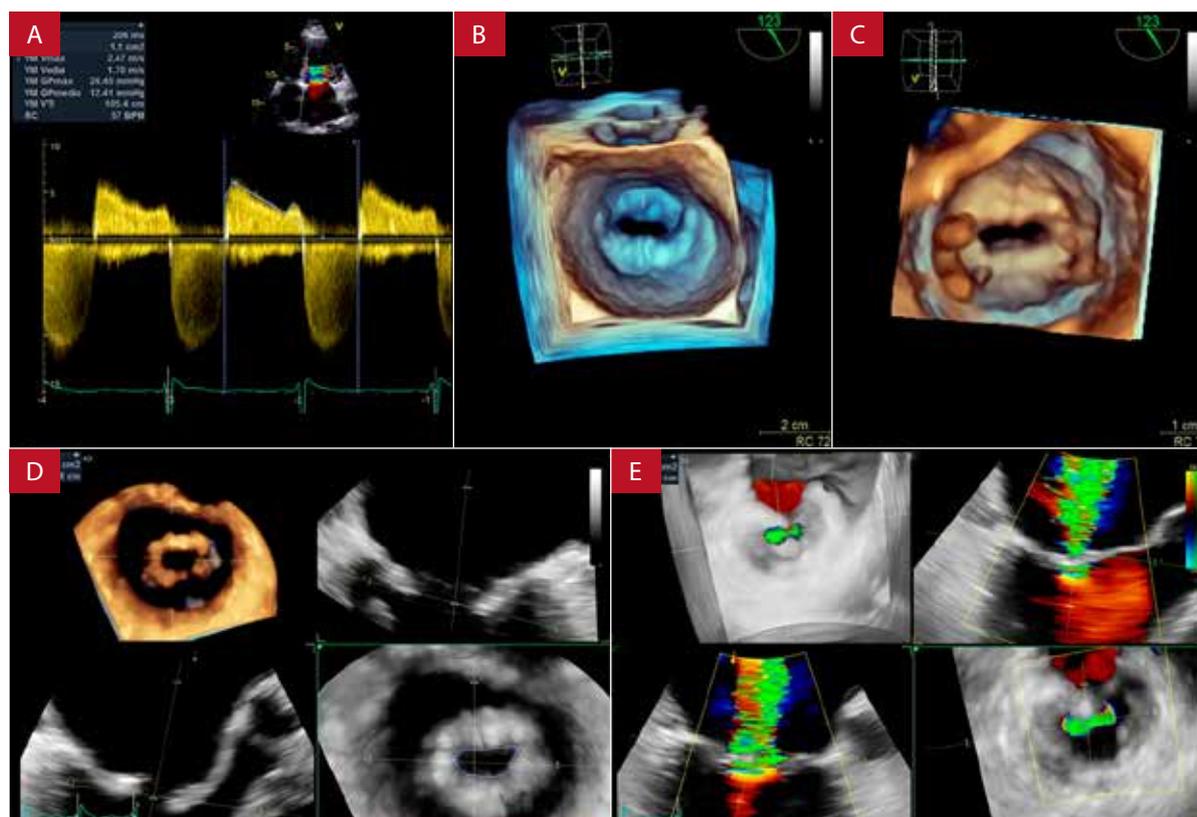


Figura 2. Caso 2: mujer de 35 años refiere disnea y ortopnea. Al examen de tórax se auscultó soplo diastólico en rodamiento en foco mitral. Fue intervenida exitosamente de remplazo con prótesis mitral mecánica. **(A)** La valoración *Doppler* determinó un gradiente medio transmitral en 12 mmHg. **(B)** ETE con adquisición volumétrica en dos ciclos cardíacos. La vista auricular de la válvula mitral en el cual se evidencia marcado engrosamiento y rugosidad bivalvar, fusión parcial de comisuras y, por consiguiente, apertura limitada severamente con morfología de boca de pez (**Video 4**). **(C)** En la inspección tridimensional, desde el aspecto ventricular, las valvas mitrales muestran engrosamiento, superficie abombada y rugosa, fusión de comisuras y engrosamiento de las cuerdas tendíneas (**Video 5**). **(D)** La reconstrucción multiplanar determinó el área de apertura mitral por planimetría en 0,8 cm². **(E)** Trazo del área de vena contracta en 0,6 cm² de regurgitación mitral (severo >0,4 cm²) a partir de reconstrucción multiplanar de un volumen adquirido con *Doppler* color.

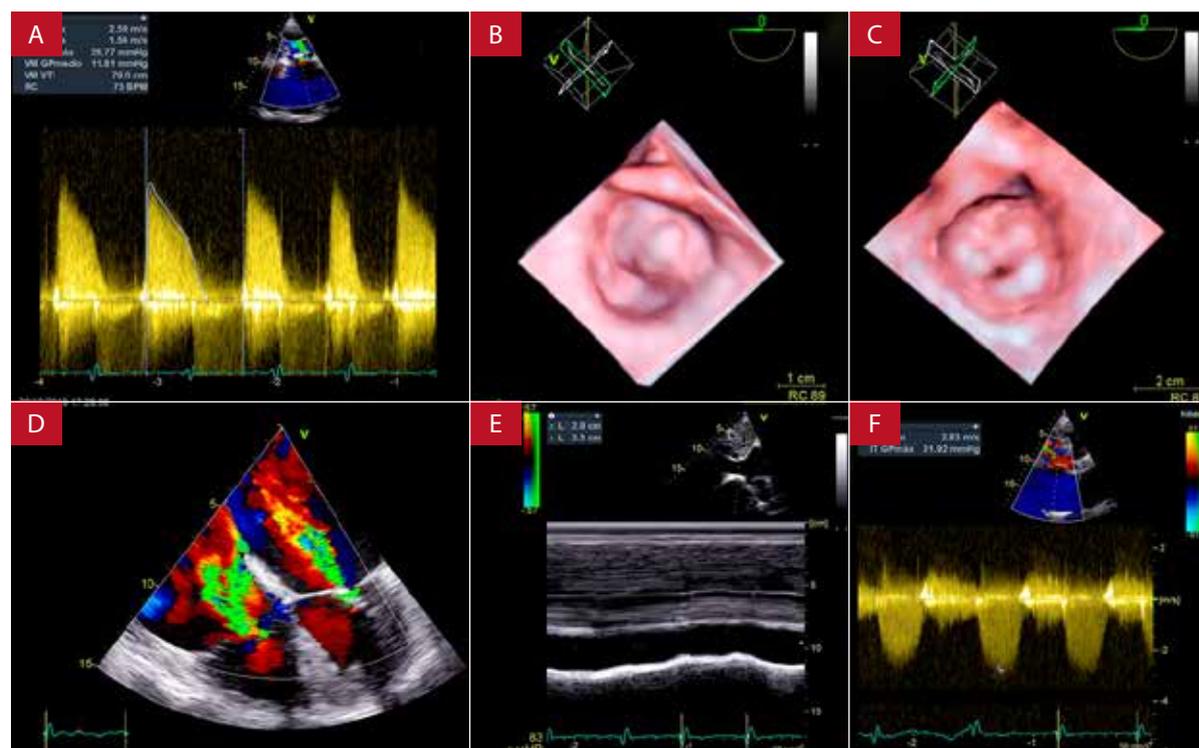


Figura 3. Caso 3: Paciente mujer de 70 años, con disnea clase funcional NYHA III y palpitaciones por fibrilación atrial. En la inspección física resalta la ingurgitación yugular y edema de miembros inferiores. **(A)** Valoración *Doppler* en espectro intermedio determina gradientes transmitrales elevados (gradiente medio: 11,8 mmHg). **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista de cirujano de valvas mitrales engrosadas con gran prominencia en valva anterior correspondiente a proceso cálcico extenso, originando severo estrechamiento valvular (**Video 6**). **(C)** Vista ventricular en 3D del aparato mitral, evidencia severo engrosamiento y abombamiento de valva anterior, fusión de comisuras casi completa con apertura casi puntiforme (**Video 7**). **(D)** ETE-2D en color a 0° muestra dilatación biauricular severa con regurgitaciones mitrotricusípidea relevantes. **(E)** Modo M de vena cava inferior dilatada (29 mm) con colapso inferior a 50%. **(F)** *Doppler* continuo de regurgitación tricúspidea severa con gradiente alto (31,9 mmHg). **E y F** determinan probabilidad alta de hipertensión pulmonar.

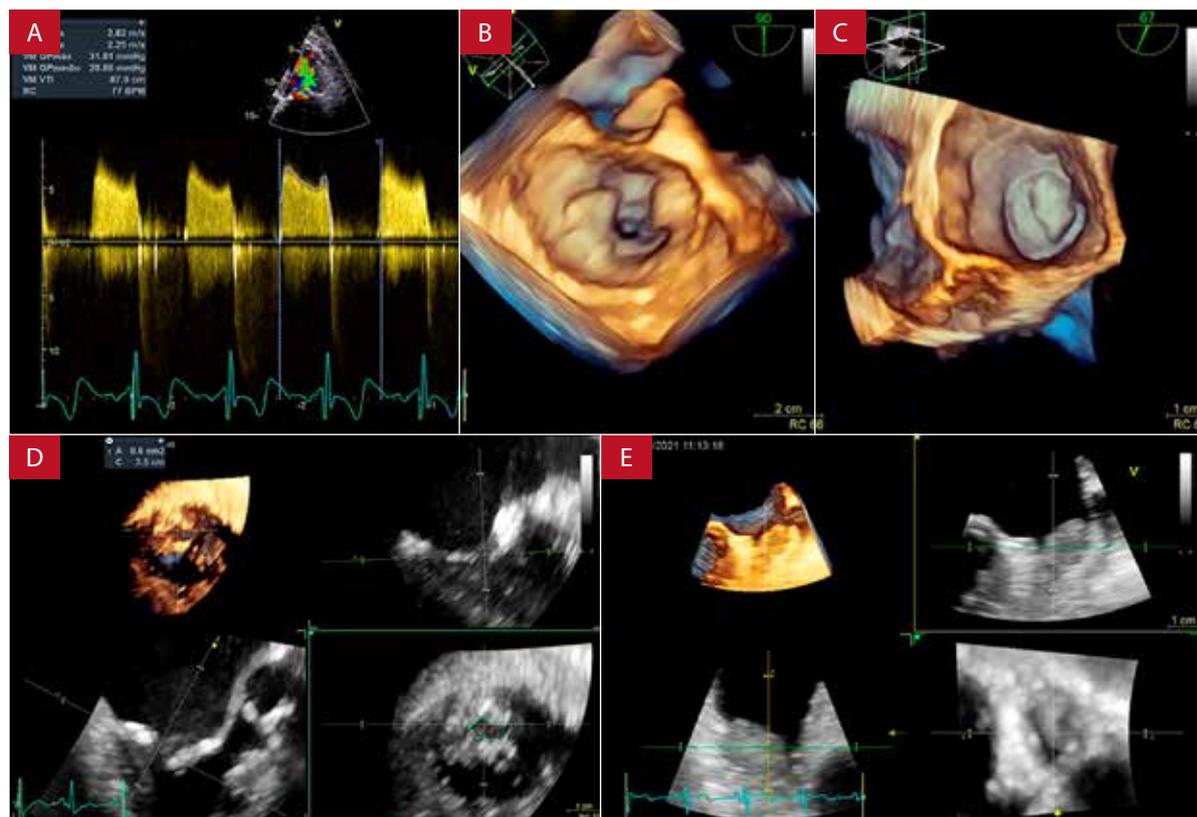


Figura 4. Caso 4: Paciente varón de 62 años refiere disnea clase funcional NYHA II y palpitaciones de un año de evolución. Antecedente de ablación de flutter atrial exitoso. No adherencia a terapia anticoagulante. **(A)** Mediante Doppler se determinó estenosis mitral severa (gradiente medio 20,8 mmHg). **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista del cirujano de la válvula mitral con presencia de protuberancias cálcicas en comisuras con fusión parcial, además de engrosamiento y rugosidad de las valvas, los cuales ocasionan evidente estrechamiento valvular (**Video 8**). **(C)** Adquisición 3D a un ciclo de la orejuela izquierda, en la vista auricular se muestra ocupada por trombo sedimentado (**Video 9**). **(D)** Reconstrucción multiplanar con área de apertura mitral trazada en 0,6 cm². **(E)** Múltiples cortes de la orejuela evidencian la presencia de trombo que ocupa casi su totalidad (**Video 10**).

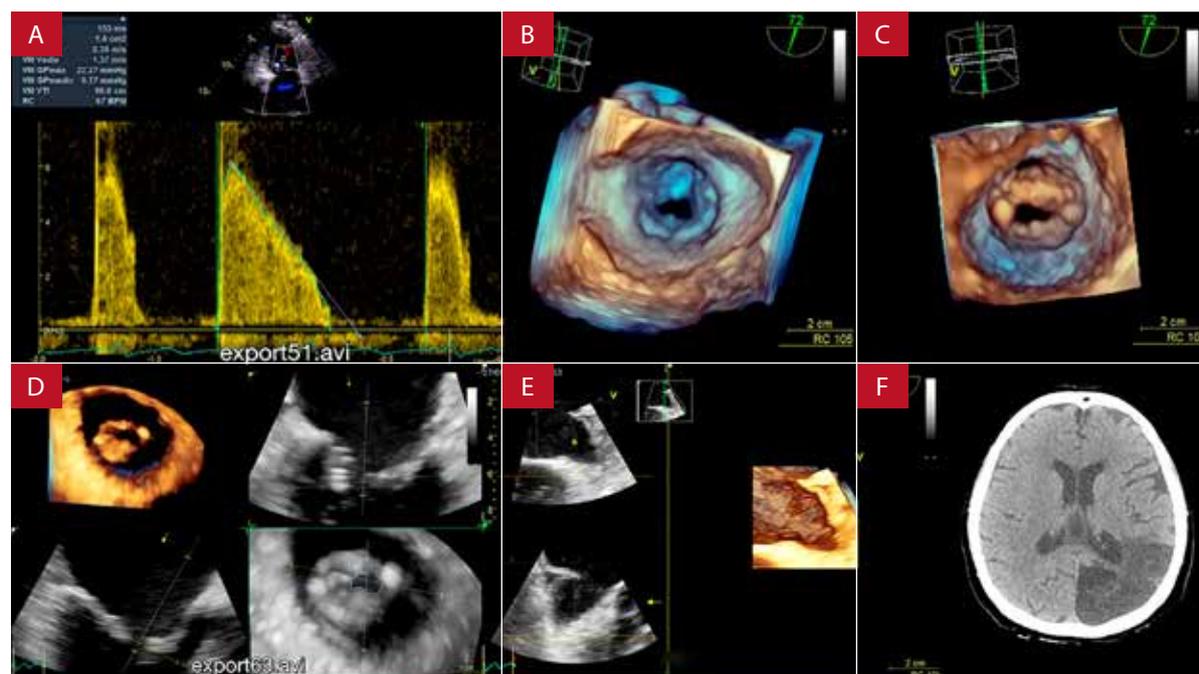


Figura 5. Caso 5: Paciente mujer de 69 años con disnea y palpitaciones. Antecedentes: hipertensión arterial, diabetes mellitus, fibrilación auricular y Stroke secuelar reciente. **(A)** Gradiente medio transmitral elevado (9,2 mmHg) por valoración *Doppler*. **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista auricular de la válvula mitral evidencia severo engrosamiento del anillo y valvas, y fusión parcial comisural, los cuales originan estenosis severa (**Video 11**). **(C)** Vista ventricular con severo engrosamiento irregular de valvas mitrales con predominio de los bordes libres, originando fusión de comisuras y así estrechamiento valvular (**Video 12**). **(D)** Reconstrucción multiplanar, muestra un área de apertura mitral por planimetría en 0,5 cm². **(E)** Imagen volumétrica de la orejuela con morfología en bolsa de viento que evidencia marcado contraste espontáneo (**Video 13**). **(F)** Tomografía cerebral que muestra lesión isquémica extensa temporoccipital izquierdo correspondiente a embolismo cardíaco.

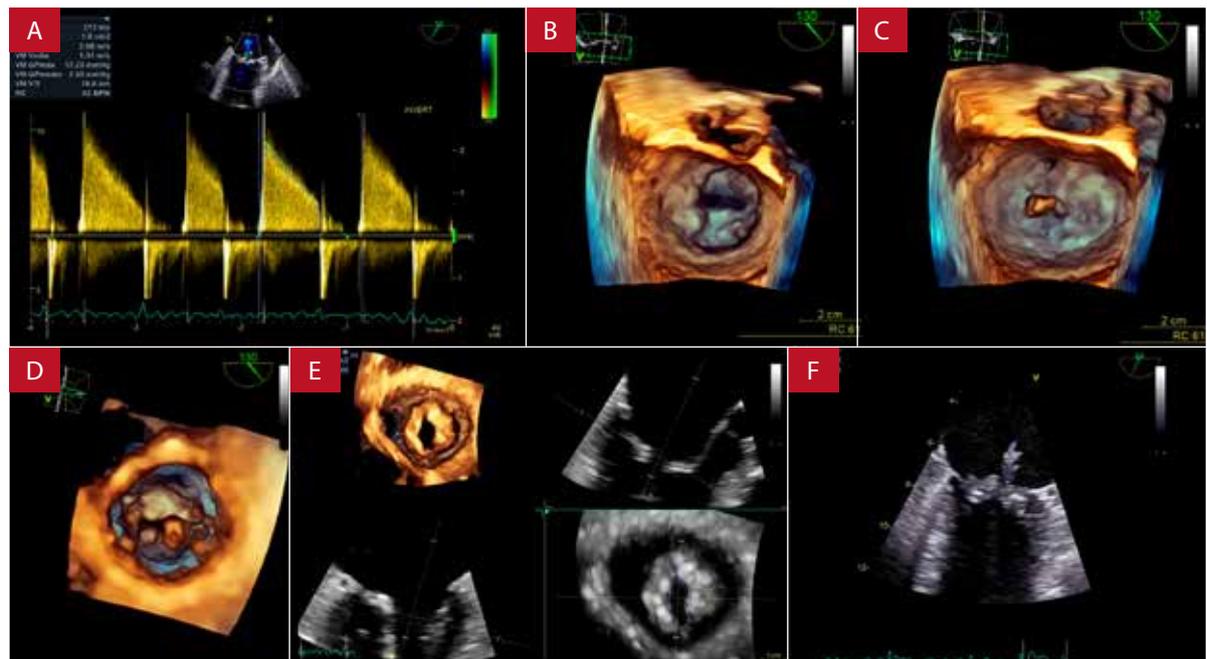


Figura 6. Caso 6: Paciente de 56 años con estenosis mitral reumática en espera de intervención, acude por empeoramiento de disnea (NYHA III), palpitaciones y alza térmica. **(A)** Interrogación Doppler en espectro intermedio muestra gradiente medio transmitral en 7,9 mmHg. **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista en face de la válvula mitral con múltiples protuberancias en anillo congruente con esclerocalcificación, engrosamiento de los velos, fusión parcial bicomisural y consiguiente estenosis mitral (**Video 14**). **(C)** Vista en face de la válvula mitral cerrada, se aprecia estructura filiforme valvular originada en el aspecto auricular compatible con vegetación. **(D)** En la vista ventricular se aprecia valva anterior mitral engrosada y abombada, asimismo las cuerdas tendíneas se visualizan severamente engrosadas, demostrando la gran agresividad reumática (**Video 15**). **(E)** Reconstrucción multiplanar de la válvula mitral, se traza el área de apertura en 1,2 cm². **(F)** ETE-2D en nivel medio esofágico a 64°, evidencia vegetación de 16 mm en válvula mitral (**Video 16**).

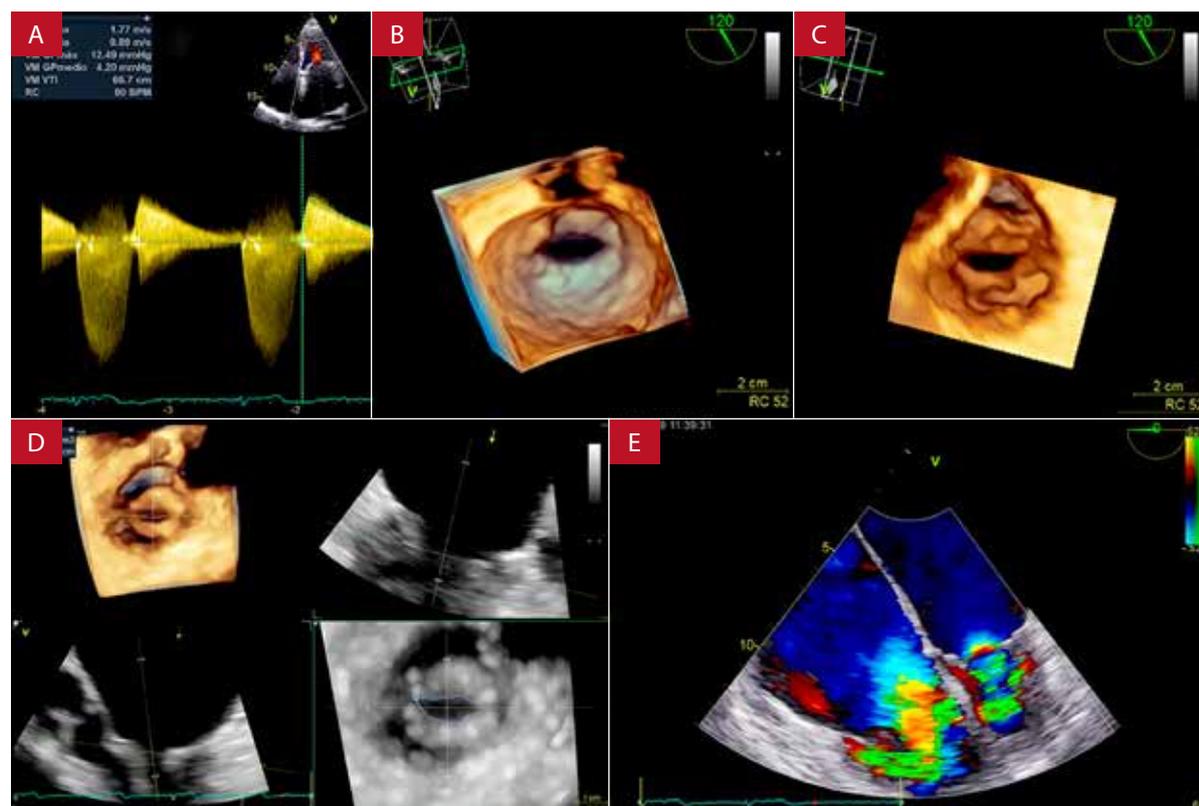


Figura 7. Caso 7: Paciente mujer de 60 años ingresa por disnea NYHA III asociada a palpitaciones. Al examen físico se evidencia ingurgitación yugular y edema de miembros inferiores. **(A)** Evaluación por *Doppler* del gradiente transmitral en 4,2 mmHg. **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista auricular de la válvula mitral que evidencia engrosamiento bivalvar y anular con fusión mínima bicomisural, configurando la apertura mitral en morfología boca de pez **(Video 17)**. **(C)** Vista ventricular de la válvula mitral muestra engrosamiento de bordes libres bivalvar, abombamiento de la valva anterior, engrosamiento de las cuerdas tendíneas y fusión de comisuras **(Video 18)**. **(D)** Reconstrucción multiplanar para estudiar la apertura mitral trazada en 1,1 cm². **(E)** ETE-2D color en nivel esofágico medio a 0° evidencia marcada dilatación de cavidades derechas, repercusión hemodinámica de la estenosis mitral **(Video 19)**.

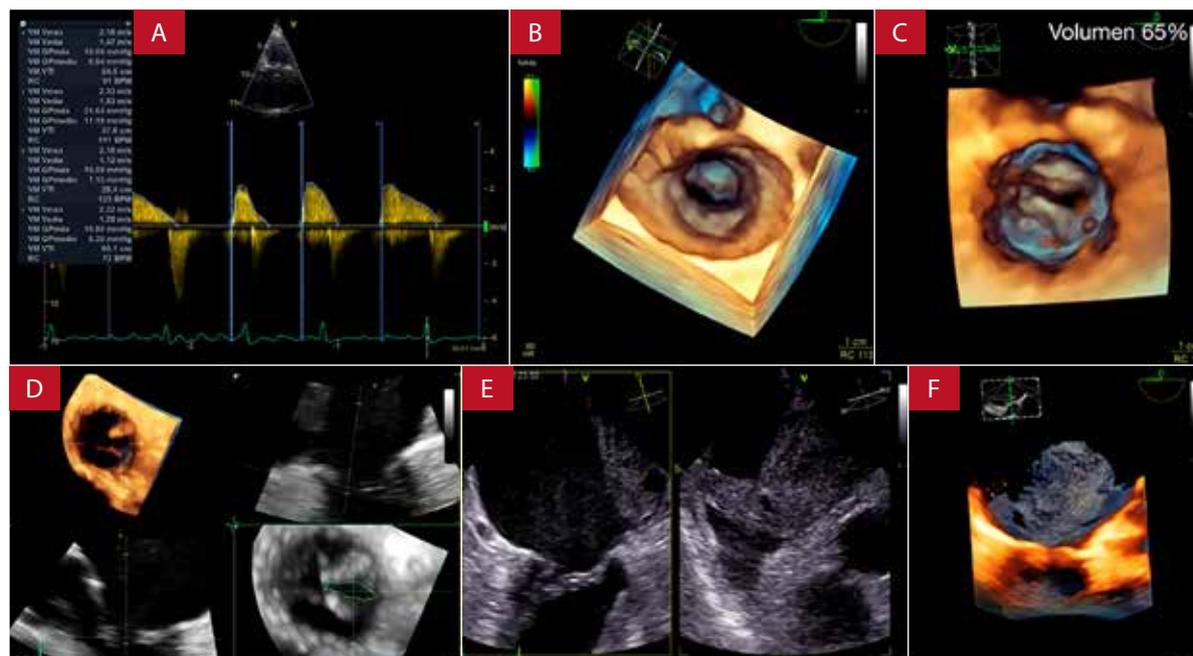


Figura 8. Caso 8: Paciente mujer de 59 años con disnea y palpitaciones por fibrilación auricular. Sin terapia antiarrítmica y anticoagulante. Al examen físico resalta soplo diastólico en foco mitral y crepitantes en ambos campos pulmonares. **(A)** Interrogación con Doppler continuo en múltiples espectros del llenado mitral determina un gradiente medio promedio en 9,6 mmHg. **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Mitral en face muestra marcado engrosamiento severo del anillo y de ambas valvas, fusión parcial bicomisural y apertura severamente limitada. Asimismo, se evidencia contraste espontáneo **(Video 20)**. **(C)** Válvula mitral desde el aspecto ventricular en 3D, muestra engrosamiento bivalvar con preferencia de borde libre de velo anterior; igualmente, engrosamiento de cuerdas y fusión comisural **(Video 21)**. **(D)** Reconstrucción multiplanar evidencia estenosis severa (área: 0,6 cm²). **(E)** Vistas ortogonales de la aurícula izquierda evidencian trombo gigante (59 mm de longitud mayor) implantado en casi la totalidad de la pared lateral **(Video 22)**. **(F)** Imagen 3D del trombo gigante en aurícula izquierda **(Video 23)**.

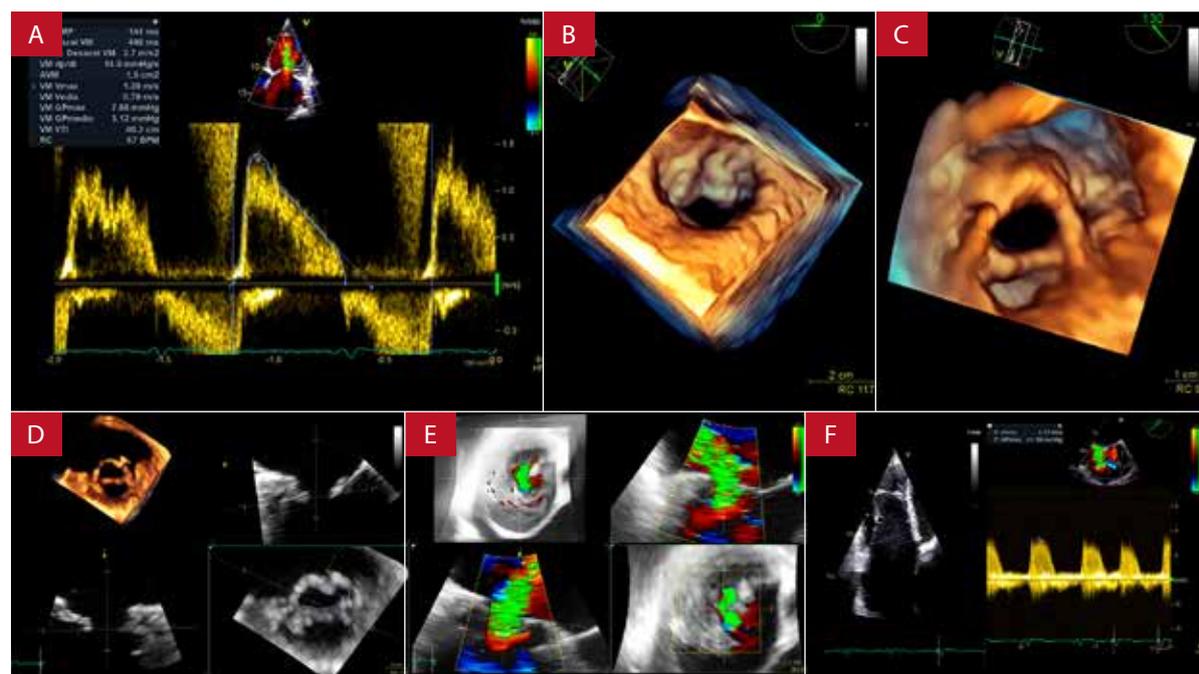


Figura 9. Caso 9: Paciente varón de 58 años ingresa por disnea exacerbada y palpitaciones. Al examen físico resaltan ingurgitación yugular (+++/+++), ascitis y edema de miembros inferiores. **(A)** Valoración *Doppler* transmitral muestra un gradiente medio en 3,12 mmHg. **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Vista del cirujano de válvula mitral, destacan engrosamientos y protuberancias de valva anterior, así como engrosamiento anular y fusión parcial de ambas comisuras, lo cual origina una apertura mitral restringida (**Video 24**). **(C)** Vista ventricular de válvula mitral evidencia marcado engrosamiento de bordes libres valvares, engrosamiento de cuerdas tendíneas y fusión de comisuras (**Video 25**). **(D)** Reconstrucción multiplanar de válvula mitral, permite un trazo de apertura valvular en 2 cm². **(E)** Área de vena contracta de regurgitación mitral en 1,1 cm² (severa >0,4 cm²), estimada de reconstrucción multiplanar con color. **(F)** Dilatación de ventrículo derecho y regurgitación tricúspidea severa funcional con gradiente elevado (40 mmHg), ambos signos de alta probabilidad de hipertensión pulmonar.

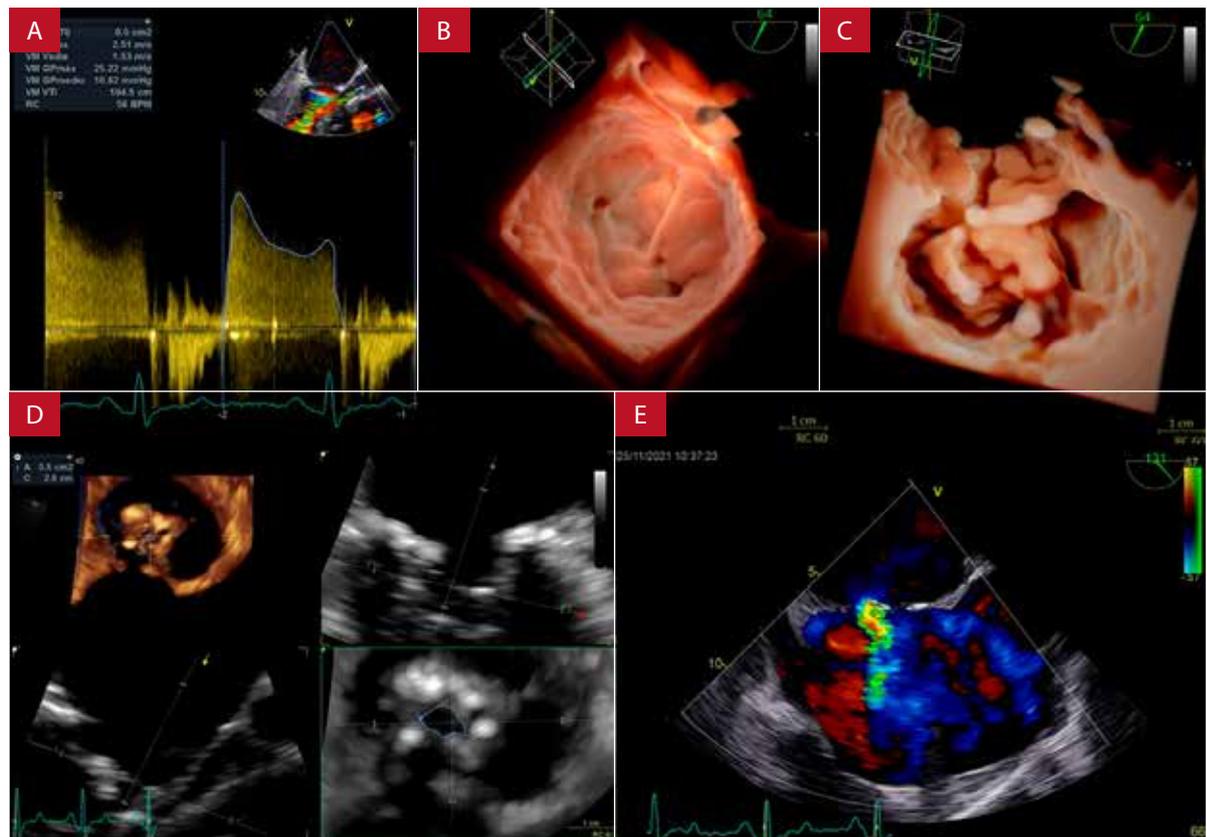


Figura 10. Caso 10: Paciente mujer 44 años con diagnóstico de estenosis mitral reumática, intervenida hace 10 años de valvuloplastia percutánea, ingresa por disnea exacerbada y palpitaciones intermitentes. **(A)** Valoración *Doppler* de gradiente medio transmitral elevado (10,2 mmHg). **(B)** ETE, adquisición volumétrica en un ciclo cardíaco. Técnica de transiluminación de la válvula mitral en face, en el cual se definen mejor la profundidad y el relieve originado por esclerocalcificación severa del anillo y las valvas; asimismo, se aprecia fusión completa bicomisural, hallazgos que desvirtúan la apertura mitral (**Video 26**). **(C)** Vista ventricular de válvula mitral con transiluminación, que muestra severo engrosamiento y calcificación del aparato subvalvular con una apertura mitral no perceptible (**Video 27**). **(D)** Reconstrucción multiplanar precisa área de apertura mitral en 0,5 cm². **(E)** ETE en nivel medio esofágico con rotación horaria de la sonda a 131°, muestra defecto septal auricular iatrogénico debido a valvuloplastia percutánea previa.

Referencias bibliográficas

- Noubiap JJ, Agbor VN, Bigna JJ, Kaze AD, Nyaga UF, Mayosi BM. Prevalence and progression of rheumatic heart disease: a global systematic review and meta-analysis of population-based echocardiographic studies. *Sci Rep*. 2019;9(1):17022. doi: 10.1038/s41598-019-53540-4.
- Carapetis JR, Steer AC, Mulholland EK, Weber M. The global burden of group A streptococcal diseases. *Lancet Infect Dis*. 2005;5(11):685-94. doi: 10.1016/S1473-3099(05)70267-X.
- Marijon E, Ou P, Celermajer DS, Ferreira B, Mocumbi AO, Jani D, et al. Prevalence of rheumatic heart disease detected by echocardiographic screening. *N Engl J Med*. 2007;357(5):470-6. doi: 10.1056/NEJMoa065085.
- Seckeler MD, Hoke TR. The worldwide epidemiology of acute rheumatic fever and rheumatic heart disease. *Clin Epidemiol*. 2011;3:67-84. doi: 10.2147/CLEP.S12977.
- Wunderlich NC, Beigel R, Siegel RJ. Management of mitral stenosis using 2D and 3D echo-Doppler imaging. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2013;6(11):1191-205. doi: 10.1016/j.jcmg.2013.07.008.
- Otto CM, Nishimura RA, Bonow RO, Carabello BA, Erwin JP 3rd, Gentile F, et al. 2020 ACC/AHA Guideline for the Management of Patients with Valvular Heart Disease: Executive Summary: A Report of the American College of Cardiology/American Heart Association Joint Committee on Clinical Practice Guidelines. *J Am Coll Cardiol*. 2021 Feb 2;77(4):450-500. doi: 10.1016/j.jacc.2020.11.035. Epub 2020 Dec 17. Erratum in: *J Am Coll Cardiol*. 2021 Mar 9;77(9):1276.
- Singh S, Goyal A. The origin of echocardiography: a tribute to Inge Edler. *Tex Heart Inst J*. 2007;34(4):431-8.
- Zamorano J, de Agustín JA. Three-dimensional echocardiography for assessment of mitral valve stenosis. *Curr Opin Cardiol*. 2009;24(5):415-9. doi: 10.1097/HCO.0b013e32832e165b.
- Cunningham MW. Rheumatic fever, autoimmunity, and molecular mimicry: the streptococcal connection. *Int Rev Immunol*. 2014;33(4):314-29. doi: 10.3109/08830185.2014.917411.
- Tandon HD, Kasturi J. Pulmonary vascular changes associated with isolated mitral stenosis in India. *Br Heart J*. 1975;37(1):26-36. doi: 10.1136/hrt.37.1.26.
- Silbiger JJ. Advances in Rheumatic Mitral Stenosis: Echocardiographic, Pathophysiologic, and Hemodynamic Considerations. *J Am Soc Echocardiogr*. 2021;34(7):709-722.e1. doi: 10.1016/j.echo.2021.02.015.
- Baumgartner H, Hung J, Bermejo J, Chambers JB, Evangelista A, Griffin BP, lung B, Otto CM, Pellikka PA, Quiñones M; EAE/ASE. Echocardiographic assessment of valve stenosis: EAE/ASE recommendations for clinical practice. *Eur J Echocardiogr*. 2009;10(1):1-25. doi: 10.1093/ejehocard/jen303. Epub 2008 Dec 8. Erratum in: *Eur J Echocardiogr*. 2009 May;10(3):479.
- Jain S, Mankad SV. Echocardiographic assessment of mitral stenosis: echocardiographic features of rheumatic mitral stenosis. *Cardiol Clin*. 2013;31(2):177-91. doi: 10.1016/j.ccl.2013.03.006.
- Gorlin R, Gorlin SG. Hydraulic formula for calculation of the area of the stenotic mitral valve, other cardiac valves, and central circulatory shunts. I. *Am Heart J*. 1951;41(1):1-29. doi: 10.1016/0002-8703(51)90002-6.
- Nishimura RA, Rihal CS, Tajik AJ, Holmes DR Jr. Accurate measurement of the transmitral gradient in patients with mitral stenosis: a simultaneous catheterization and Doppler echocardiographic study. *J Am Coll Cardiol*. 1994;24(1):152-8. doi: 10.1016/0735-1097(94)90556-8.
- Wilkins GT, Weyman AE, Abascal VM, Block PC, Palacios IF. Percutaneous balloon dilatation of the mitral valve: an analysis of echocardiographic variables related to outcome and the mechanism of dilatation. *Br Heart J*. 1988;60(4):299-308. doi: 10.1136/hrt.60.4.299.
- lung B, Cormier B, Ducimetière P, Porte JM, Nallet O, Michel PL, et al. Immediate results of percutaneous mitral commissurotomy. A predictive model on a series of 1514 patients. *Circulation*. 1996;94(9):2124-30. doi: 10.1161/01.cir.94.9.2124.
- Schlosshan D, Aggarwal G, Mathur G, Allan R, Cranney G. Real-time 3D transesophageal echocardiography for the evaluation of rheumatic mitral stenosis. *JACC Cardiovasc Imaging*. 2011;4(6):580-8. doi: 10.1016/j.jcmg.2010.12.009.
- Sugeng L, Shernan SK, Salgo IS, Weinert L, Shook D, Raman J, et al. Live 3-dimensional transesophageal echocardiography initial experience using the fully-sampled matrix array probe. *J Am Coll Cardiol*. 2008;52(6):446-9. doi: 10.1016/j.jacc.2008.04.038.
- Lang RM, Badano LP, Tsang W, Adams DH, Agricola E, Buck T, et al. EAE/ASE recommendations for image acquisition and display using three-dimensional echocardiography. *Eur Heart J Cardiovasc Imaging*. 2012;13(1):1-46. doi: 10.1093/ehjci/erj316.
- Min SY, Song JM, Kim YJ, Park HK, Seo MO, Lee MS, et al. Discrepancy between mitral valve areas measured by two-dimensional planimetry and three-dimensional transoesophageal echocardiography in patients with mitral stenosis. *Heart*. 2013;99(4):253-8. doi: 10.1136/heartjnl-2012-302742.
- Dreyfus J, Brochet E, Lepage L, Attias D, Cuffe C, Detaint D, et al. Real-time 3D transoesophageal measurement of the mitral valve area in patients with mitral stenosis. *Eur J Echocardiogr*. 2011;12(10):750-5. doi: 10.1093/ejehocard/erj118.
- Zhong X, Chen W, Shi Z, Huan Z, Ma L, Liu W, et al. Three-dimensional transesophageal echocardiography measurement of mitral valve area in patients with rheumatic mitral stenosis: γ multiplanar reconstruction or 3D direct planimetry? *Int J Cardiovasc Imaging*. 2021;37(1):99-107. doi: 10.1007/s10554-020-01950-1.
- Messika-Zeitoun D, Brochet E, Holmin C, Rosenbaum D, Cormier B, Serfaty JM, et al. Three-dimensional evaluation of the mitral valve area and commissural opening before and after percutaneous mitral commissurotomy in patients with mitral stenosis. *Eur Heart J*. 2007;28(1):72-9. doi: 10.1093/eurheartj/ehl206.
- Reid CL, McKay CR, Chandraratna PA, Kawanishi DT, Rahimtoola SH. Mechanisms of increase in mitral valve area and influence of anatomic features in double-balloon, catheter balloon valvuloplasty in adults with rheumatic mitral stenosis: a Doppler and two-dimensional echocardiographic study. *Circulation*. 1987;76(3):628-36. doi: 10.1161/01.cir.76.3.628.