

ARTÍCULO ORIGINAL

# IMPRESIÓN TRIDIMENSIONAL DE MODELOS DE VÁLVULA MITRAL UTILIZANDO DATOS ECOCARDIOGRÁFICOS: ¿CONTRIBUYE AL CONOCIMIENTO DE LOS MÉDICOS ESPECIALISTAS EN CARDIOLOGÍA EN FORMACIÓN?

AUTORES:

Ziad R. Bulbul 1 , Issam El Rassi 2 , Lamyia Atweh 3 , Ramsey F. Hamade 4 , Haní Tamim 5 , y Fadi Bitar 1 .

1 Departamento de Pediatría y Medicina del Adolescente, 2 Departamento de Cirugía, 3 Departamento de Radiodiagnóstico, 4 Departamento de Ingeniería Mecánica, 5 Departamento de Bioestadística. Centro Médico de la Universidad Americana de Beirut. Beirut, Líbano.

Autor correspondiente :

Dr. Ziad Bulbul. Departamento de Pediatría y Medicina del Adolescente, Centro Médico de la Universidad Americana de Beirut, PO Box 11-0236, Riad El- Solh Beirut 1107 2020, Líbano. Teléfono: 00(961) 76 793838 / Fax: 00(961) 1 370781  
Ziad.bulbul@aub.edu.lb. ID ORCID 0000-0002-0893-0435

Conflictos de interés: Los autores declaran que no tienen ningún conflicto de interés, ya sea por relación económica o personal, que pudiera haber afectado o sesgado su trabajo.

Fondos: Todos los modelos 3D fueron impresos en el Departamento de Ingeniería de la Universidad Americana de Beirut por el Dr. Hamadeh y su grupo, financiados por el Consejo Nacional de Investigación Científica (Programa de Investigación de Subvenciones 2017 número de premio 103288).

<https://doi.org/10.55634/1.3.3>

## RESUMEN

**Antecedentes:** los modelos tridimensionales de válvula mitral (3D MVM) impresos a partir de ecocardiografía se utilizan actualmente en la preparación para la reparación quirúrgica. Presumimos que la MVM impresa en 3D podría mejorar la comprensión de los cardiólogos en formación sobre la anatomía y la patología normales de la válvula mitral.

**Métodos:** se reclutaron 16 becarios en formación en cardiología pediátrica y de adultos. Se mostraron videoclips de ecocardiografía 3D (3DE) de 6 MV. Después de eso, se presentaron en una pantalla tres imágenes fijas de cada uno de los MVM 3D en diferentes proyecciones, correspondientes a los mismos MV vistos en los clips. Se pidió a los becarios que respondieran un cuestionario destinado a evaluar si el 3D MVM ha mejorado su comprensión de MV. Finalmente, se entregó un MVM impreso en 3D de cada una de las válvulas previamente proyectadas y se volvió a administrar el mismo cuestionario.

**Resultados:** el diagnóstico correcto de segmentos prolapsados utilizando el videoclip 3DE de la MV fue alcanzado solo por el 45% de los participantes del estudio. Tanto los aprendices pediátricos como los adultos demostraron una mejor comprensión de la anatomía de las MV después de observar la imagen de la MVM de esta última. Se notó una mejora adicional en la comprensión de los participantes después de haber visto y examinado físicamente el MVM impreso.

**Conclusión:** la MVM 3D impresa tiene un impacto beneficioso en la comprensión de la anatomía y la patología de la VM por parte de los residentes de cardiología en comparación con las imágenes 3D.

Palabras clave: Ecocardiografía, Tridimensional, Válvula mitral, Impresión, Educativo, Aprendices de cardiología

## INTRODUCCIÓN

Desde su introducción inicial en la década de 1980, la impresión 3D de imágenes radiográficas ha cobrado impulso como herramienta clínica en los últimos años. Desde un uso inicial para el trabajo industrial [1], la impresión 3D hizo su debut en el campo de la atención clínica en la década de 1990 con la fabricación del primer modelo de hueso craneal [2]. Su uso se ha generalizado en varios campos mé-

dicos, desde la bioimpresión de órganos tisulares [3] que se extiende actualmente a implantes, prótesis y modelos anatómicos replicados específicos para pacientes para la educación y la planificación quirúrgica [4,5]. Actualmente se dispone de modelos tridimensionales de corazones con varios defectos congénitos [2]. Los valores diagnósticos y educativos de tales modelos como herramientas físicas para el entrenamiento están actualmente en aumento.

Aunque el uso clínico de 3DE existe desde hace más de dos décadas, los modelos de estructuras cardíacas generados a partir de 3DE no se han investigado a fondo. Los conjuntos de datos ecocardiográficos en 3D de una válvula mitral, obtenidos a través de la ventana transesofágica, han demostrado tener suficiente resolución espacial y temporal para uso clínico. Sin embargo, hasta el día de hoy, esto sigue siendo subóptimo para la impresión 3D. Por lo tanto, la obtención de impresiones 3D a partir de datos ecocardiográficos no se ha perfeccionado por completo y todavía está rezagada con respecto a otras imágenes basadas en radiografías.

Muchos software de renderizado 3D disponibles comercialmente están disponibles actualmente. Las imágenes basadas en 3DE dinámicas renderizadas son un complemento excelente para la ecocardiografía bidimensional convencional para la reparación quirúrgica. Además de la imagen 3DE renderizada, un MVM 3D (Fig.1) se puede generar. MVM 3D se puede utilizar para realizar varias mediciones que son cruciales para comprender las estructuras de la VM y para planificar la intervención quirúrgica. Por otro lado, proyectar una estructura 3D en una pantalla plana inevitablemente afecta la percepción de profundidad del espectador. A diferencia de las imágenes 3DE, el MVM 3D proporciona una excelente profundidad mientras conserva los detalles cuando se imprime.

Suponemos que MVM impreso en 3D (Fig. 3) podría mejorar la comprensión de la anatomía y patología normales de la VM para los cardiólogos en formación.

## MÉTODOS

Este es un estudio educativo transversal basado en un

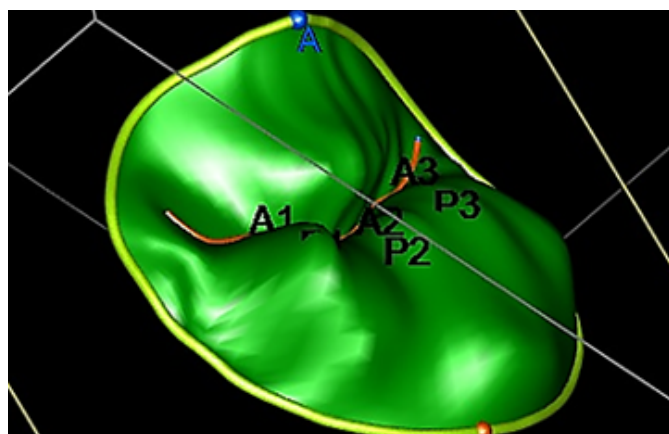


Fig. 1 Imagen inclinada del MVM 3D que muestra las dos valvas divididas en un total de seis festones: A1, A2, A3 y P1, P2, P3 (A: anterior. P: posterior, 3D: tridimensional, MVM: modelo de válvula mitral)

cuestionario que se administró a médicos cardiólogos en formación, entre junio de 2017 y marzo de 2018, en el Centro Médico de la Universidad Americana de Beirut (AUBMC). El estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional de Investigación de AUBMC. Los becarios de cardiología aceptaron participar en el estudio. Se hizo hincapié en el hecho de que la participación es voluntaria y que pueden retirarse del estudio en cualquier momento y en cualquier momento. Además, todos los datos recopilados, incluidos videos, modelos clínicos y detalles de los becarios (excepto su año de capacitación y subespecialidad), fueron anónimos. Se mantuvo la confidencialidad durante todo el estudio. Dieciséis becarios de cardiología en diferentes niveles de formación (once residentes de cardiología de adultos y cinco estudiantes de cardiología pediátrica) fueron reclutados y completaron el estudio.

Las imágenes de la VM y la adquisición de conjuntos de datos 3D se completaron utilizando una sonda transesofágica (t7-1) y una plataforma de ecocardiografía (iE-33) (Philips, Eindhoven, Países Bajos). Las imágenes 3D renderizadas de la válvula mitral se generaron utilizando el software QLAB v.8 (Philips, Eindhoven, Países Bajos) y se guardaron como videoclips anónimos (formato Audio Video Interleave, Microsoft, Washington, EE. UU.).

Los conjuntos de datos 3D nativos se importaron a un software disponible comercialmente (Image Arena, Tom Tec GmbH. Munich, Alemania). Se utilizó otro complemento de software especializado semiautomático (paquete MVA 2.1) para generar un modelo geométrico de la válvula que incluye el anillo, las valvas y la línea de coaptación. Las imágenes de cada modelo, en tres proyecciones (perfil,



Fig. 2 que muestra una imagen del MVM 3D impreso; (a1) y (a2): dos válvulas con prolapso de un solo segmento de la valva; (b1) y (b2): dos valvas con al menos dos segmentos prolapsados que involucran ambas valvas, con falta de coaptación de las valvas en una. (c): válvula con segmento de mayal. (d): válvula normal (3D: tridimensional, MVM: modelo de válvula mitral)

frontal e inclinada) se guardaron en formato JPEG ( Grupo Conjunto de Expertos Fotográficos ) y se exportaron como archivos estereolitográficos (STL).

archivos del MVM 3D se imprimieron en una impresora 3D Ultimaker 2+ R comercial ( Ultimaker BV Watermolenweg , Países Bajos). La fidelidad de los modelos resultantes se conservó en gran medida.

En el estudio se utilizaron un total de seis válvulas (una normal y cinco patológicas). Los modelos patológicos incluyeron: dos válvulas con prolapso de un solo segmento de la valva (Fig. 2: A1 y A2), dos válvulas con al menos dos segmentos prolapsados que involucran ambas valvas y falta de coaptación de la valva (Fig. 3: B1 y B2), y una quinta válvula, marcada como válvula C, demostró un segmento de mayal. La válvula D era la válvula normal (Fig. 2).

Para probar nuestra hipótesis, se preparó un cuestionario basado en PowerPoint (Microsoft Incorporated-Washington, EE. UU.) . El cuestionario fue diseñado específicamente para este proyecto para determinar si el modelo impreso en 3D mejoró la percepción y el conocimiento de los participantes sobre el MV o no.

Los clips de película de 3DE de los 6 MV se proyectaron inicialmente a los participantes del estudio, después de lo cual se les pidió que nombraran los segmentos patológicos de los folletos de MV, si existía alguno. A continuación, se proyectaron secuencialmente imágenes de MVM 3D de las mismas válvulas en una pantalla plana. Se preguntó a los participantes si eso había contribuido a su comprensión de la válvula con respecto a las siguientes categorías: (1) anatomía en general, (2) área y prolapso de las valvas y (3) forma del anillo: si se asemeja a un círculo o una elipse y la diferencia de elevación entre los planos anteroposterior y mediolateral. Finalmente, se entregaron los correspondientes MVM 3D impresos a los participantes para su evaluación tangible. Se administró el mismo cuestionario una vez más luego de su evaluación del MVM 3D impreso .

## ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Los datos se ingresaron y analizaron mediante el programa Statistical Package for Social Sciences (SPSS Inc, Chicago, IL). Para cada caso, el número y porcentaje de becarios que dieron la respuesta correcta y si el MVM 3D impreso mejoraron su comprensión de la anatomía y la patología de la VM se calculó y presentó como media y desviación estándar. Se pidió a cada becario que asignara una respuesta a cada una de las cuatro preguntas que describían cómo una determinada modalidad de imagen mejoraba su comprensión de la anatomía y la patología de la MV. Las respuestas disponibles fueron: ‘extremadamente’, ‘mucho’, ‘moderadamente’, ‘ligeramente’ y ‘nada’. Para la presentación de los datos de percepción, hemos creado tres grupos de respuestas. Una percepción

negativa indicada por las respuestas “nada” y “ligeramente”, una percepción neutra indicada por la respuesta “moderadamente” y una percepción positiva indicada por las respuestas “mucho” y “extremadamente” . Se calcularon los porcentajes de respuestas negativas, neutrales y positivas para cada categoría en los 6 casos.

Para evaluar las respuestas generales y comparar los resultados entre los becarios adultos y pediátricos por un lado, y entre los 7 junior (aprendices de primer año) y los 9 becarios senior (aprendices de segundo y tercer año) por el otro; se compararon el número y los porcentajes de respuestas positivas y se calculó la diferencia en las puntuaciones medias mediante la prueba de Mann-Whitney, en la que se utilizó un valor de  $p < 0,05$  para indicar la significación estadística.

## CUMPLIMIENTO DE NORMAS ÉTICAS

Este estudio fue aprobado por la Junta de Revisión Institucional (IRB) y el Comité de Ética del Centro Médico de la Universidad Americana de Beirut y la Facultad de Medicina de la AUB. Se obtuvo el consentimiento de todos los becarios (cardiología pediátrica y de adultos) antes de la inscripción. La inscripción era opcional y la participación dependía únicamente de la elección del becario.

## RESULTADOS

### 1-Videoclips:

Con base en los videos de las válvulas, catorce participantes (87,5%) identificaron correctamente el caso normal. Doce (75%) y siete (44%) de ellos nombraron el segmento prolapsado correcto en los dos modelos con un segmento patológico. Sin embargo, seis (37,5%), cuatro (25%) y solo uno (6,3%) participantes identificaron correctamente todos los segmentos patológicos en los últimos tres casos complejos (con más de un segmento prolapsado presente).

### 2- Imágenes del MVM 3D:

Tras la proyección de las imágenes de la MVM 3D, (44,8 %), (41,7 %), (40,6 %) y (51,6 %) del grupo coincidieron en que las imágenes de la MVM 3D mejoraron su comprensión del aspecto general de la válvula, su área, segmentos prolapsados y forma del anillo respectivamente.

Entre los becarios junior, (38,1 %) indicó que la imagen de la MVM 3D mejoró su comprensión general de la anatomía de la válvula, (45,2 %) afirmó que mejoró su percepción del área de la válvula, (46,3 %) estuvo de acuerdo en que cambió positivamente su comprensión del prolapso de la valva, y (40,5%) estuvo de acuerdo en que mejoró su comprensión de la forma del anillo. Esto es en comparación con los becarios principales de los cuales (42,6 %), (44,4 %), (55,6 %) y (42,6 %) coincidieron en que la imagen de 3D MVM mejoró su comprensión de la válvula en

general, su área, el prolapso folíolos y la forma del anillo respectivamente (Cuadro 1).

### 3- Inspección de MVM 3D impreso:

La inspección de MVM 3D ha mejorado la comprensión de los becarios sobre la válvula mitral en las 4 categorías según los porcentajes de respuestas positivas obtenidas: 1- apariencia general de la válvula (76%); 2- área de la válvula (74,7%); 3- segmentos prolapsados (78,9%) y 4-

forma del anillo (68,8%). Al comparar becarios según su nivel de formación; los becarios senior tenían más probabilidades de estar de acuerdo en que el MVM 3D impreso fue útil para mejorar su comprensión del MV en todas las categorías en comparación con sus homólogos junior. (77,8 %) de los becarios senior estuvieron de acuerdo en que el MVM 3D impreso mejoró su comprensión de la apariencia general de la válvula frente al (73,8 %) de

| Todos los aprendices (n=16) |                 | Imagen del modelo 3D | Impresión de modelo 3D | valor p |
|-----------------------------|-----------------|----------------------|------------------------|---------|
|                             | Respuesta n= 96 | norte (%)            | norte (%)              |         |
| Apariencia general          | Negativo        | 23 (24,0)            | 8 (8,3)                | <0.0001 |
|                             | Neutral         | 34 (35,4)            | 15 (15,6)              |         |
|                             | Positivo        | 39 (40,6)            | 73 (76,0)              |         |
| Área de la válvula          | Negativo        | 24 (25,0)            | 9 (9,5)                | <0.0001 |
|                             | Neutral         | 29 (30,2)            | 15 (15,8)              |         |
|                             | Positivo        | 43 (44,8)            | 71 (74,7)              |         |
| Prolapso de segmentos       | Negativo        | 24 (25,3)            | 5 (5,3)                | <0.0001 |
|                             | Neutral         | 22 (23,2)            | 15 (15,8)              |         |
|                             | Positivo        | 49 (51,6)            | 75 (78,9)              |         |
| Forma del anillo            | Negativo        | 22 (22,9)            | 9 (9,4)                | <0.0001 |
|                             | Neutral         | 34 (35,4)            | 21 (21,9)              |         |
|                             | Positivo        | 40 (41,7)            | 66 (68,8)              |         |

### Estudiantes de pediatría (n=5)

|                       | Respuesta (n=30) | norte (%) | norte (%) |        |
|-----------------------|------------------|-----------|-----------|--------|
| Impresión general     | Negativo         | 2 (6,7)   | 0 (0,0)   | = 0,10 |
|                       | Neutral          | 8 (26,7)  | 7 (23,3)  |        |
|                       | Positivo         | 20 (66,7) | 23 (76,7) |        |
| Área de la válvula    | Negativo         | 2 (6,7)   | 0 (0,0)   | = 0,06 |
|                       | Neutral          | 7 (23,3)  | 6 (20,7)  |        |
|                       | Positivo         | 21 (70,0) | 24 (79,3) |        |
| Prolapso de segmentos | Negativo         | 3 (10,3)  | 1 (3,4)   | = 0,03 |
|                       | Neutral          | 6 (20,7)  | 5 (17,2)  |        |
|                       | Positivo         | 20 (69,0) | 24 (79,3) |        |
| Forma del anillo      | Negativo         | 2 (6,7)   | 0 (0,0)   | = 0,10 |
|                       | Neutral          | 8 (26,7)  | 8 (26,7)  |        |
|                       | Positivo         | 20 (66,7) | 22 (73,3) |        |

### Aprendices Adultos (n=11)

|                       | Respuesta (n=66) | norte (%) | norte (%) |         |
|-----------------------|------------------|-----------|-----------|---------|
| Impresión general     | Negativo         | 21 (31,8) | 8 (12,1)  | <0.0001 |
|                       | Neutral          | 26 (39,4) | 8 (12,1)  |         |
|                       | Positivo         | 19 (28,8) | 50 (75,8) |         |
| Área de la válvula    | Negativo         | 22 (33,3) | 9 (13,6)  | <0.0001 |
|                       | Neutral          | 22 (33,3) | 9 (13,6)  |         |
|                       | Positivo         | 22 (33,3) | 48 (72,8) |         |
| Prolapso de segmentos | Negativo         | 21 (31,8) | 4 (6,1)   | <0.0001 |
|                       | Neutral          | 16 (24,4) | 10 (15,2) |         |
|                       | Positivo         | 29 (43,8) | 52 (78,7) |         |
| Forma del anillo      | Negativo         | 20 (30,3) | 9 (13,6)  | <0.0001 |
|                       | Neutral          | 26 (39,4) | 13 (19,7) |         |
|                       | Positivo         | 20 (30,3) | 44 (66,7) |         |

Tabla 1. El cambio en la percepción de los becarios sobre la anatomía de la válvula mitral después del examen del modelo impreso en 3D en comparación con la imagen del modelo 3D. El valor P se calcula para la respuesta positiva

los becarios junior (( $p = 0,05$ ). Los resultados fueron los mismos con respecto a su comprensión de la forma del anillo: (75,9%) vs (59,5%) ( $p = 0,01$ ) y de los segmentos prolapsados: (81,5%) vs (75,6%) ( $p = 0,03$ ), sin embargo, no hubo diferencia estadística entre junior y senior fellows con respecto a si el MVM 3D impreso mejoró su comprensión del área de la válvula: (75,6 %) frente a (74,1 %) ( $p = 0,05$ )

#### 4- Imagen vs. Impresión de 3D MVM:

Al comparar las imágenes de la MVM 3D con su impresión correspondiente, todo el grupo percibió que la MVM 3D impresa había mejorado significativamente su comprensión de la válvula mitral con respecto a las imágenes en las cuatro categorías: (76 %) frente a (46 %) ( $p < 0,0001$ ) para el aspecto general, (74,7%) vs (44,8%) ( $p < 0,0001$ ) para el área, (78,9%) vs (51,6%) para segmentos prolapsados ( $p < 0,0001$ ), y (69 %) vs. (42%) ( $p < 0,0001$ ) para la forma del anillo (Cuadro 2).

Estos resultados fueron los mismos independientemente del año de formación. Los jóvenes becarios estuvieron de acuerdo en que el MVM 3D impreso mejoró su comprensión del MV en las cuatro categorías en comparación con la imagen: (73,8 %) frente a (38,1 %) ( $p < 0,0001$ ) para la apariencia general, (75,6 %) frente a (45,2%) para el área de la válvula ( $p < 0,001$ ), (75,6%) vs. (46,3%) ( $p < 0,001$ ) para segmentos prolapsados, y (59,5%) vs. (40,5%) ( $p = 0,02$ ) para la forma de la VM. Los becarios senior siguieron la misma tendencia: (77,8%) vs (42,6%) ( $p < 0,0001$ ) para el aspecto general, (74,1%) vs (44,4%) ( $p < 0,0001$ ) para el área, (81,5%) vs (55,6%) ( $p < 0,0001$ ) para segmentos prolapsados, y (75,9%) vs (42,6%) ( $p < 0,0001$ ) para la forma del anillo.

## DISCUSIÓN

La complejidad de la VM ha sido un desafío para la imagen desde las etapas iniciales de la ecocardiografía. Un hito en la obtención de imágenes de la VM fue el uso clínico de los ecocardiogramas transesofágicos (ETE) [6]. El ETE bidimensional (2D) y su aplicación en la imagen de la VM [7,8 ] ha ampliado el alcance de la cirugía de reparación [9]. A pesar de todos los avances, la comprensión de la patología de la VM requiere la asimilación de imágenes 2D con hallazgos valvulares intraoperatorios directos. Ahmed et al. informó que este enfoque podría ser un desafío para los ecocardiógrafos menos experimentados; especialmente en casos de prolapso de VM complejo que involucra múltiples segmentos de VM [10].

Capacitar a un cardiólogo en ecocardiografía es un proceso largo y tedioso. El mayor desafío para un aprendiz es reconstruir mentalmente una imagen 3D a partir de múltiples cortes de planos 2D para una estructura determinada. Para lograr tal propósito, la ventaja del TEE 3D

sobre el TEE 2D es obvia, especialmente para una estructura compleja como la MV. Además, La Canna et al. eludió un valor diagnóstico adicional de la ETE 3D en el sentido de que proporciona un mapeo más preciso del prolapso de la VM y más detalles de su anatomía [11].

Actualmente, las imágenes 3D renderizadas desde 3DE se proyectan en monitores 2D. El mero hecho de proyectar una estructura 3D en una pantalla plana es una importante carencia, a pesar del uso de diferentes tonalidades y sombras para mejorar la percepción de la profundidad.

Recientemente, la impresión 3D ha cobrado impulso en el campo de la medicina. Las estructuras anatómicas de diferentes sistemas del cuerpo se imprimen con un alto grado de precisión [4,5]. Además, el precio de la impresión se ha reducido significativamente, y la mayoría de los centros hoy en día pueden imprimir sus propias imágenes en 3D.

Si bien la impresión de estructuras cardíacas a partir de tomografías computarizadas y resonancias magnéticas se realiza de forma rutinaria hoy en día, la impresión a partir de datos ecocardiográficos aún no se ha perfeccionado. Esto se debe principalmente a la resolución especial relativamente baja de las imágenes 3DE. Mahmud et al. [12] y otros han impreso MVM 3D generados a partir de datos ecocardiográficos. Las impresiones resultantes imitaron fielmente las imágenes ecocardiográficas originales. Esta modalidad de imagen, sin embargo, aún requiere perfeccionamiento para describir mejor la coaptación de las valvas, las cuerdas de las válvulas, los músculos papilares y la geometría del ventrículo izquierdo [13]. Por otro lado, imprimir MVM 3D a partir de datos ecocardiográficos es práctico y puede ser rentable por las siguientes razones: 1- el mismo software 3D que se usa para generar el modelo 3D se usa para exportar el archivo 3D imprimible; por lo tanto, no es necesario adquirir un software de renderizado especializado como es el caso de la tomografía computarizada y la resonancia magnética. 2- El tiempo de impresión es corto (alrededor de 10 minutos) y el material utilizado es mínimo. 3- Las válvulas se pueden imprimir en una impresora 3D comercial normal sin necesidad de una impresora de nivel industrial.

En el campo de la cirugía, Beraud y su grupo destacaron la mejora en los resultados quirúrgicos de la VM coincidiendo con el uso de imágenes basadas en 3D [14]. Hien et al. había demostrado en un estudio multicéntrico que el uso de 3DE de la VM mejora la comprensión de los segmentos de prolapso [15]. El hecho de que esto fuera cierto tanto para principiantes como para ecocardiógrafos experimentados fue interesante. Yendo un paso más allá, Hadeed y su grupo propusieron en una breve comunicación el uso de modelos 3D impresos de lesiones congénitas complejas como hoja de ruta para la repara-

ción quirúrgica [16]. Recientemente, Premyodhin et al. publicaron su experiencia en el uso de moldes MV especialmente contruidos que simulaban tejido natural en la simulación preoperatoria de la reparación robótica de la válvula mitral [17].

Desde un punto de vista educativo, Biglino et al. mostró en una publicación reciente el beneficio de usar modelos 3D del corazón como una herramienta educativa para la capacitación de enfermeras cardíacas pediátricas y adultas [18]. Costello et al. encontró que la comprensión de las lesiones de los residentes de pediatría, como el defecto del tabique ventricular, podría mejorar aún más con el modelo impreso en comparación con los seminarios educativos sobre anatomía y ecocardiografía. Propusieron que los modelos de corazón impresos en 3D se pueden incorporar de manera efectiva en un plan de estudios de capacitación en cuidados intensivos y enfermedades cardíacas congénitas basado en simulación para médicos residentes de pediatría (19).

Una de las ventajas de la inspección física del modelo 3D sobre la proyección 2D de su imagen podría explicarse por la pérdida de la percepción de profundidad que es intrínseca a la proyección de una estructura 3D en una pantalla 2D.

En este estudio, buscamos demostrar que una MVM 3D, impresa en base a datos ecocardiográficos, puede mejorar la comprensión de la anatomía normal y anormal de la VM incluso con un alto nivel de entrenamiento. Nuestros datos muestran claramente que 3D MVM, cuando los becarios de cardiología los examinaron físicamente, mejoraron significativamente su comprensión incluso después de ver una imagen 3D del mismo modelo. Esta observación no solo era válida para los segmentos prolapsados sino también para el área y la forma de la válvula y la compleja anatomía del anillo. Este fue el caso independientemente del nivel de formación de los becarios de cardiología.

En el futuro, un mayor avance en la resolución espacial y temporal de las imágenes 3D generadas por eco junto con el avance en la impresión 3D permitirá la impresión de estructuras reales de corazones normales y deformados congénitamente a partir de datos ecocardiográficos con alta fidelidad y precisión. Con el tiempo, la combinación de válvulas y aparatos subválvulares impresos a partir de datos ecocardiográficos con modelos de corazón impresos a partir de tomografías computarizadas o resonancias magnéticas mejorará aún más nuestra comprensión de las cardiopatías congénitas, así como la planificación quirúrgica.

## CONCLUSIÓN

Las MVM 3D impresas basadas en datos ecocardiográficos tienen un impacto positivo en la comprensión de la

anatomía y patología de la VM para los residentes de cardiología pediátrica y de adultos. Podría mejorar aún más el poder de diagnóstico de 3DE, especialmente en casos complejos de enfermedad de MV.

### Limitaciones del estudio:

Aunque el número de participantes del estudio fue pequeño, los resultados fueron coherentes con la superioridad del modelo impreso en 3D.

Las limitaciones fundamentales de la ecografía, como la reverberación, el sombreado, las interrupciones y los artefactos de movimiento, pueden limitar la identificación de puntos de referencia en la imagen ecocardiográfica. La adquisición óptima de imágenes con buena calidad de imagen es un aspecto importante de la ecocardiografía tridimensional, que a su vez afectará la calidad de imagen de la MVM 3D.

Este estudio podría servir como punto de partida para estudios más amplios para evaluar la efectividad de la integración del modelo 3D en la educación médica.

## Referencias

1. Sun Z, Squelch A. Modelos impresos en 3D de anatomía compleja en enfermedades cardiovasculares. *Corazón Res Abierto J*. 2015; 2(3): 103-108. doi : 10.17140/HROJ2-118
2. Kim MS, Hansgen AR, Wink O, Quafe RA, Carroll JD. Creación rápida de prototipos: una nueva herramienta para comprender y tratar la cardiopatía estructural. *Circulación*. 6 de mayo de 2008; 117 (18): 2388-94. doi : 10.1161/CIRCULACIÓN.AHA.107.740977
3. Daemen JHT, Heuts S, Olsthoorn JR, Maessen JG, Sardari Nia P. Modelado de la válvula mitral e impresión tridimensional para la planificación y simulación de la reparación de la válvula mitral. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2019 1 de marzo; 55 (3): 543-551. doi : 10.1093/eurjcts/ezy306
4. Frame M, Leach W. Impresión 3D DIY de implantes ortopédicos personalizados : un estudio de prueba de concepto. *Surg Technol Int*. 2014 marzo;24:314-7
5. Gerstle TL, Ibrahim AMS, Kim PS, Lee BT, Lin SJ. Una aplicación de cirugía plástica en evolución: impresión tridimensional. *plástico cirugía de reconstrucción* 2014 febrero; 133 (2): 446-451. doi : 10.1097/01.prs.0000436844.92623.d3
6. Souquet J, Hanrath P, Zitelli L, Kremer P, Langenstein BA, Schlüter M. Transesophageal Phased Array para obtener imágenes del corazón. *IEEE Trans Biomed Eng*. 1982 octubre; 29 (10): 707-12. doi : 10.1109/TBME.1982.324864
7. Lambert AS, Miller JP, Merrick SH, et al. Evaluación mejorada de la ubicación y el mecanismo de la insuficiencia de la válvula mitral con un examen ecocardiográfico transesofágico sistemático. *anesth Anal* . 1999 junio;88(6):1205-12. doi : 10.1097/00000539-199906000-00004
8. Shanewise JS, Cheung AT, Aronson S, et al. Directrices de ASE/SCA para realizar un examen de ecocardiografía transe-

- sofágica multiplano intraoperatorio integral: recomendaciones del Consejo de Ecocardiografía Intraoperatoria de la Sociedad Estadounidense de Ecocardiografía y el Grupo de Trabajo para la Certificación en Ecocardiografía Transesofágica Perioperatoria de la Sociedad de Anestesiólogos Cardiovasculares. *J Am Soc Ecocardiograma* \_ 1999 de octubre; 12 (10): 884-900. doi : 10.1016/s0894-7317(99)70199-9
9. Sidebotham DA, Allen SJ, Gerber IL, Fayers T. Ecocardiografía transesofágica intraoperatoria para la reparación quirúrgica de la regurgitación mitral. *J Am Soc Ecocardiograma* \_ 2014 abril; 27 (4): 345-66. doi : 10.1016/j.echo.2014.01.005. Epub 2014 15 de febrero
10. Ahmed S, Nanda NC, Miller AP, et al. Utilidad de la ecocardiografía tridimensional transesofágica en la identificación del prolapso individual de segmento/festón de la válvula mitral. *Ecocardiografía*. 2003 febrero; 20(2):203-9. doi : 10.1046/j.1540-8175.2003.03010.x
11. La Canna G, Arendar I, Maisano F, et al. Ecocardiografía transesofágica tridimensional en tiempo real para la evaluación de la anatomía funcional de la válvula mitral en pacientes con regurgitación relacionada con prolapso. *Soy J Cardiol* . 2011 1 de mayo; 107 (9): 1365-74. doi : 10.1016/j.amjcard.2010.12.048
12. Mahmood F, Owais K, Taylor C, et al. Impresión tridimensional de la válvula mitral utilizando datos ecocardiográficos. *Imágenes cardiovasculares JACC*. 2015 febrero;8(2):227-9. doi : 10.1016/j.jcmg.2014.06.020
13. Witschey WR, Bolsa AM, McGarvey JR, et al. Modelado físico tridimensional de la válvula mitral derivado del ultrasonido. *Ann Thorac Surg*. 2014 agosto;98(2):691-4. doi : 10.1016/j.athorac-sur.2014.04.094
14. Beraud AS, Schnittger I, Miller DC, Liang DH. La reconstrucción multiplanar de la ecocardiografía transtorácica tridimensional mejora la evaluación prequirúrgica del prolapso mitral. *J Am Soc Ecocardiograma* \_ 2009 agosto; 22 (8): 907-13. doi : 10.1016/j.echo.2009.05.007
15. Hien MD, Großgasteiger M, Rauch H, Weymann A, Beke-redjian R, Rosendal C. Expertos y principiantes se benefician de la ecocardiografía tridimensional: un estudio multicéntrico sobre la evaluación del prolapso de la válvula mitral. *J Am Soc Ecocardiograma* \_ 2013 agosto; 26 (8): 828-34. doi : 10.1016/j.echo.2013.04.015
16. Hadeed K, Dulac Y, Acar P. Impresión tridimensional de un CHD complejo para planificar la reparación quirúrgica. *Cardiol Joven*. 2016 octubre; 26 (7): 1432-4. doi : 10.1017/S1047951116000755
17. Premyodhin N, Mandair D, Ferng AS, et al. Modelos de válvula mitral impresos en 3D: simulación asequible para la reparación robótica de válvula mitral. *Interact Cardiovasc Cirugía de tórax* . 2018 1 de enero; 26 (1): 71-76. doi : 10.1093/icvts/ivx243
18. Biglino G, Capelli C, Koniordou D , et al. Uso de modelos 3D de cardiopatías congénitas como herramienta educativa para enfermeras cardíacas. *Enfermedad cardíaca congénita*. 2017 enero; 12 (1): 113-118. doi : 10.1111/chd.12414
19. Costello JP, Olivieri LJ, Su L, et al, Kim PC, Jonas RA, Nath DS. Incorporación de la impresión tridimensional en un plan de estudios de capacitación en cuidados intensivos y enfermedades cardíacas congénitas basado en simulación para médicos residentes. *Enfermedad cardíaca congénita*. 2015 marzo-abril;10(2):185-90. doi : 10.1111/chd.12238.