



# Impresión 3D en el abordaje prequirúrgico de las valvulopatías en los últimos 5 años.

González Blanco, Inés <sup>1</sup>; Sánchez Alcázar, Lara <sup>1\*</sup>; Jiménez González, Sonia <sup>1</sup>

<sup>1</sup> Facultad de Medicina de la Universidad de Granada

\* Autor de correspondencia: [zaralaraalcazar@gmail.com](mailto:zaralaraalcazar@gmail.com)

\* Fecha de envío: 05/02/2023

\* Fecha de aceptación: 14/04/2023

\* Fecha de publicación: 03/05/2023

---

## Resumen

En una sociedad cada vez más longeva y, por tanto, con mayor incidencia de valvulopatías, los métodos de tratamiento menos invasivos que la cirugía a corazón abierto se presentan como alternativas de gran utilidad clínica. Tal es el caso del reemplazo de válvula aórtica transcatóter (TAVR), que comporta sus propios riesgos. La impresión 3D se plantea como un instrumento útil para prevenir complicaciones en la TAVR, lo que favorecería un incremento en la aplicación de este procedimiento menos invasivo, mejorando la calidad de vida de los pacientes con valvulopatía aórtica. El objetivo de esta revisión fue analizar la situación actual de la impresión 3D en relación con la TAVR, dando pie a futuras líneas de investigación.

El uso de la tomografía computarizada es el protocolo estándar para la recogida de datos, sin embargo, la resonancia magnética se plantea como posible método eficaz, libre de radiación. Con respecto a los materiales, pese a que el poliuretano termoplástico es el material por excelencia, se utilizan otros materiales para reproducir la fisiología del paciente. Los estudios analizados, encontraron que la recreación 3D permitió predecir la aparición de fuga paravalvular y obstrucción coronaria, así como valorar el procedimiento quirúrgico previamente, aumentando la posibilidad de éxito de la intervención.

Los resultados prometedores de los estudios analizados sugieren que la impresión 3D podría tener una gran utilidad en intervenciones como la TAVR. Las aportaciones de futuros estudios podrían aumentar la evidencia respecto al potencial de esta técnica, lo que supondría su implementación en los hospitales, contribuyendo a un mejor abordaje quirúrgico y pronóstico.

**Palabras clave:** TAVR, Impresión 3D, Valvulopatías, estenosis aórtica, fuga paravalvular, obstrucción coronaria.

---

## 1. Introducción

Las cardiopatías son una serie de enfermedades cuya incidencia tiende a aumentar con la edad. En una sociedad cada vez más longeva es un problema que puede llegar a tener grandes repercusiones sociales y económicas (1). Dentro de las enfermedades cardíacas más frecuentes encontramos las valvulopatías, que tienen una prevalencia de 2,5% en la población general de países industrializados (2). En España, se ha observado que en personas mayores de 75 años hay una prevalencia de 12,5% de cardiopatía isquémica, siendo también un factor a tener en cuenta en pacientes con alto riesgo quirúrgico. Las valvulopatías más frecuentes son: la estenosis aórtica, la insuficiencia aórtica, la estenosis mitral y la insuficiencia mitral (2).

Las intervenciones de reemplazo de la válvula aórtica se encuentran entre las más estudiadas. Existen dos posibles intervenciones para el reemplazo de la válvula aórtica: cirugía de sustitución de la válvula a corazón abierto (SAVR) y reemplazo de la válvula por catéter (TAVR). Debido a los inconvenientes que pueden surgir de la SAVR, la TAVR es una alternativa muy prometedora por ser menos invasiva y reducir significativamente el riesgo de accidentes cerebrovasculares, sangrado mayor y fibrilación auricular. Sin embargo, la TAVR puede presentar otras complicaciones tal como se muestra en la Figura 1 (3).

Se ha planteado el uso de la impresión 3D como herramienta para planificar la TAVR, escogiendo la válvula de reemplazo más adecuada para prevenir complicaciones. La impresión 3D permite que a partir de datos de tomografía computarizada (TC) y otras técnicas de imagen, se creen modelos tridimensionales que reproduzcan fielmente la anatomía del paciente. Por ello, la impresión 3D permite recrear las condiciones de la operación, posibilitando al cirujano valorar los riesgos y particularidades de cada caso.

Las técnicas más comunes de impresión 3D incluyen: la extrusión de polímeros, la utilización de resina y la impresión a base de polvo (4). La impresión 3D constituye una técnica de fabricación aditiva. Es decir, los modelos se construyen mediante la adición de capas sucesivas del material empleado. La impresión 3D posee una alta precisión, además de ser altamente reproducible (5).

Actualmente, existe poca evidencia que respalde el uso de la impresión 3D como instrumento de valoración de posibles complicaciones en la TAVR y la mayoría de los estudios han sido retrospectivos (6–10). En el futuro, nuevos estudios prospectivos podrían aportar una mayor evidencia. Además, dado que la impresión 3D es una técnica novedosa, es necesario actualizar la información disponible al respecto, así como unificar la evidencia más reciente para llegar a una conclusión que esclarezca la efectividad de este procedimiento (11,12). Un simulador reproducible y estándar aportaría la posibilidad de desarrollar un programa de entrenamiento consistente para el profesional médico (13).

El objetivo general de esta revisión es valorar la utilidad de la impresión 3D en la prevención de complicaciones de la TAVR. En concreto, se analizó la capacidad de prevenir mediante el uso de modelos 3D las complicaciones de la TAVR, se estudió el diseño y la selección de la válvula previos a la operación, la planificación de la intervención y se revisó las aplicaciones de la impresión 3D en la formación del profesional sanitario.

## 2. Materiales y Métodos

Para la búsqueda de artículos, se utilizó la base de datos Medline. Se creó la siguiente ecuación de búsqueda, incorporando términos Mesh: ("Printing, Three-Dimensional"[Mesh]) AND "Heart Valves"[Mesh]) AND "Transcatheter Aortic Valve Replacement"[Mesh]

Además, se utilizó un filtro de los últimos cinco años. Para seleccionar los artículos, todas las autoras leyeron los abstract disponibles y se excluyeron aquellos artículos que no contenían información sobre todos los términos MeSH. Sólo se incluyeron artículos resultantes de la búsqueda inicial, sin añadir artículos incluidos en las referencias de otros. Cada autora leyó una selección de artículos extrayendo la información más relevante para la redacción de la revisión.

En la Figura 2 se muestra el diagrama de flujo con el proceso de selección de los artículos.

### 3. Resultados

#### 3.1. Obtención de imágenes

Los datos anatómicos suelen obtenerse de TC con contraste, como protocolo estándar para la obtención de imágenes fidedignas de la anatomía del paciente. La TC cardíaca se utiliza para medir con precisión el anillo aórtico y estimar la probabilidad de daño u oclusión coronaria. Su uso con contraste puede aportar resolución submilimétrica y permite diferenciar claramente los depósitos de calcio de otros tejidos (6,7).

Por otro lado, el uso de resonancia magnética (RM) sin contraste para la generación de modelos 3D se ha propuesto por ser un método libre de radiación y de reacciones adversas al contraste (14). Además, este método evalúa el funcionamiento del ventrículo izquierdo y la válvula aórtica, pese a su mayor coste, tiempo necesario de realización y una peor resolución (14,15). Existe poca evidencia que demuestre la capacidad de la RM de replicar fielmente modelos de anillo aórtico, necesarios para la TAVR (16).

En concreto, Gatti *et al.* no encontraron diferencias relevantes entre los modelos 3D realizados a partir de imágenes de TC con contraste y de RM sin contraste, ni de estos con la medición de la anatomía *in vivo* de los pacientes (16). En este caso, los datos se obtuvieron de pacientes sometidos a SAVR, con el fin de obtener una mayor precisión. Encontraron, además, una clara desventaja del uso de la RM, pues requiere de una mayor corrección manual de la imagen 3D, lo que dilata el tiempo de creación (16).

Posteriormente, estas imágenes se procesan con programas tales como el programa de diseño asistido por ordenador (CAD), que permiten trasladar y procesar las imágenes obtenidas para su posterior impresión 3D (6,7).

#### 3.2. Materiales de impresión 3D

Uno de los materiales más utilizados en la impresión 3D es el poliuretano termoplástico (TPU) para recrear la raíz de la aorta, el *ostium* y parte del ventrículo izquierdo. Además, se utilizan materiales capaces de recrear con la mayor precisión posible las distintas características de las estructuras, por ejemplo, destaca el uso de resina epoxi para recrear la presencia de hematomas en la aorta,

o el uso de fotopolímeros rígidos opacos o fotopolímeros flexibles transparentes para recrear depósitos de calcio (7–9,17). Algunos estudios recalcan la dificultad para encontrar materiales disponibles de impresión 3D que consigan replicar las propiedades elásticas de las arterias, así como las propiedades mecánicas del anillo aórtico, las valvas y las calcificaciones (7–9,17). Por ello, se está comenzando a imitar el colágeno utilizando una matriz polimérica blanda con incrustación de microestructuras rígidas y onduladas, ya que se alinea igual que él y mimetiza muy bien sus propiedades (18).

Es importante tener en cuenta que en una parte considerable de artículos se han planteado las dificultades para conseguir un fluido que replique las cualidades de la sangre para poder realizar un plan quirúrgico más fidedigno. En lugar de sangre se ha utilizado agua, que presenta una viscosidad y fluidez muy distinta y dificulta la simulación. Además, no representa de forma certera el riesgo de fuga paravalvular que se sufre durante la operación, que es una de las principales complicaciones que más preocupan a los profesionales sanitarios (8). Otros estudios emplearon fluidos análogos a la sangre con composiciones parecidas: 50.3 % glycerol, 48.8% dH<sub>2</sub>O, 0.9% NaCl, en masa (13).

El coste de 1000 g de TPU es de aproximadamente 65€, a su vez se estima que cada modelo pesa en torno a 4-6 g, por lo que la fabricación tiene un valor estimado de 1€ (6).

#### 3.3. Precisión de la recreación

Los modelos que se utilizan actualmente para la valoración de la intervención son modelos simplificados de la anatomía cardíaca izquierda, útiles para recrear las condiciones hemodinámicas específicas de cada paciente. Sin embargo, las diferencias geométricas que estos modelos presentan con respecto a la anatomía del sujeto suponen la sobreestimación del comportamiento de la válvula (13).

En un estudio consiguieron realizar un modelo que recrease tanto la anatomía de la válvula aórtica calcificada como la hemodinámica del paciente, obteniendo datos comparables de presión transvalvular y superficie efectiva del orificio. Se incorporaron además distintos materiales y modelos de válvulas, encontrando que aquellas que fueron más rígidas y que recrearon una

calcificación mayor, presentaron una superficie efectiva del orificio menor y una mayor presión arterial media, similares a las manifestaciones clínicas de la estenosis aórtica, lo que demuestra la fidelidad del modelo. Se realizó además una evaluación para comprobar posibles complicaciones del procedimiento. Se encontró evidencia de reflujo aórtico en el modelo de calcificación más grave, sin resultados concluyentes por la falta de métodos objetivos para evaluar el fenómeno (13).

Un estudio retrospectivo recreó las válvulas aórticas de 4 pacientes pediátricos y comprobó la viabilidad de los modelos, así como su precisión con respecto a los datos obtenidos a través de TC con contraste (19). Se consiguió una correlación entre el diámetro y la altura observados en las imágenes y en los modelos, con diferencias menores a 0,02 milímetros en la mayoría. Este estudio precisa la necesidad de establecer unas indicaciones estándar para realizar modelos 3D en una situación clínica, para poder establecer comparaciones con otros estudios.

Otro estudio con un paciente también utilizó un modelo negativo de impresión 3D a partir de TC y utilizó compuesto de caucho de silicona suave para realizar el prototipo anatómico (20). Se encontró que el material no recreó adecuadamente las calcificaciones y se infraestimaron los valores de presión y flujo transvalvular con respecto al paciente real.

### 3.4. Estudios valorados

Se hace hincapié en que hay muy pocos estudios disponibles que valoren el uso de la impresión 3D en la planificación prequirúrgica de la TAVR. Por ello, no es extraño que los estudios presenten una muestra muy reducida y que sean en su mayoría retrospectivos. Estos estudios se centraron en valorar la eficacia del uso del modelo 3D en prevención de complicaciones de la TAVR frente a utilizar únicamente imágenes obtenidas mediante la TC. Además, se evaluó la capacidad de los modelos para predecir el reflujo paravalvular, cuyos hallazgos fueron recogidos mediante ecocardiografía durante el periodo postoperatorio (8,9).

El reflujo paravalvular fue valorado en un estudio, donde se plantearon las posibles causas del mismo. Se planteó cómo el reflujo paravalvular se debe, principalmente, a un tamaño insuficiente de la válvula de reemplazo o a una mala colocación de la misma debido a la presencia

de calcificaciones nodulares. Sin embargo, afirmaron que se desconoce si los cambios hemodinámicos podrían influenciar la aparición de estos orificios responsables del reflujo paravalvular (10).

A pesar del reducido tamaño de muestra, se ha encontrado una asociación entre el reflujo paravalvular del modelo y el observado en el paciente, por lo que se concluyó que la impresión 3D funciona eficientemente para poder anticiparse a esta complicación.

A su vez, se valoró la capacidad de los modelos 3D para predecir la obstrucción coronaria, resultando que en la mayoría de los casos, los modelos hicieron una predicción correcta (21,22).

En los casos clínicos utilizados en esta revisión se observó que el uso de la impresión 3D para la planificación quirúrgica se ha relacionado con pacientes de avanzada edad, con estenosis aórtica grave (17,21). Además, los pacientes de los casos clínicos presentaron complicaciones que agravaron su situación, tales como aterosclerosis, hematomas intramurales o debilidad vascular, que hicieron cuestionable el abordaje quirúrgico o que provocaron múltiples dudas de cómo realizar el procedimiento.

En estos casos clínicos se recrearon el corazón y anexos, además de estructuras patológicas como hematomas. Se utilizaron materiales con las características de las estructuras anatómicas en aspectos como dureza o distensibilidad, encontrando el problema de mimetizar la capacidad lábil de los vasos sanguíneos, como se especifica con anterioridad en el apartado 3.2. *Materiales de impresión 3D*.

Estos modelos han permitido probar distintas válvulas y preparar el planteamiento prequirúrgico, permitiendo medir variables como la fuerza óptima de ejecución y el uso seguro de la TAVR (17,21). Por tanto, es innegable que la impresión 3D es una gran herramienta para poder prever y prevenir las posibles complicaciones que el individuo puede sufrir durante la intervención, además de ser una gran ayuda a la hora de elegir la válvula de reemplazo que más se ajuste a la anatomía de cada individuo.

### 3.5. Limitaciones

Es importante destacar que la muestra de los estudios fue muy reducida, y por lo tanto, pese a realizar un estudio y obtener resultados significativos, la utilidad clínica debe evaluarse en estudios prospectivos adecuadamente diseñados. En el procedimiento de la TAVR, la válvula de reemplazo se expande dentro del orificio de la válvula enferma, sin embargo, la mayoría de los estudios no especificaron si se recreó la válvula o los materiales que utilizaron para este fin, lo que compromete la reproducibilidad de estos y su aplicación a la clínica.

La edad de los pacientes de los estudios limita considerablemente la evidencia, pues como la TAVR se realiza mayoritariamente en pacientes de avanzada edad, hay más factores que no se pueden controlar que agravan las posibles complicaciones y se deben a las propias afecciones derivadas del envejecimiento. Sin embargo, las complicaciones de la TAVR son muy graves como para permitir a pacientes jóvenes someterse a esta intervención, sin encontrar un método de previsión claro.

Estudios posteriores que aporten una mayor evidencia sobre la aplicación de modelos 3D, podrían incrementar la seguridad de la TAVR, lo que sería beneficioso, pues es mucho menos invasiva que la SAVR. Se prevee un aumento de la aplicación de la TAVR en pacientes más jóvenes dados los recientes hallazgos de la impresión 3D, que están afianzando a la TAVR como una técnica muy prometedora (3).

Como ya se ha mencionado, las propiedades elásticas de la pared aórtica la convierten en una estructura difícil de reproducir. Además, el termoplástico empleado no es el material más adecuado para la replicación de una arteria con las características que posee la aorta (8).

Con respecto al tiempo de producción, los estudios analizados difieren en la duración de la fabricación del modelo, si bien es cierto que el tiempo es un factor limitante cuando se trata de intervenciones de urgencia.

Pese a que el precio de la impresión 3D es ínfimamente bajo comparado con otras técnicas disponibles, el mayor inconveniente que tiene la impresión 3D es el cuidado y tiempo de fabricación, ya que aunque sea una técnica que se puede automatizar en su mayor parte, se pueden cometer numerosos errores durante su fabricación. Un mínimo error durante la adquisición de imágenes, su

segmentación o procesamiento puede dar lugar a un modelo que claramente no se corresponda con la

anatomía del paciente y que genere aún más problemas durante la operación (6). Por ello, se debería trabajar en el desarrollo de protocolos estandarizados que permitan minimizar estos errores y así salvaguardar la fidelidad de los modelos.

### 4. Conclusiones

La impresión 3D es una técnica innovadora que tiene un gran potencial como instrumento de planificación terapéutica. Es una herramienta pionera de la que todavía se tiene poca información asociada a la TAVR, pero los estudios arrojan resultados prometedores.

Los resultados obtenidos en esta revisión narrativa muestran la necesidad de continuar con las investigaciones sobre impresión 3D aplicada a la TAVR, con el fin de aumentar la evidencia disponible y abarcar nuevas líneas de investigación que permitan respaldar de forma contundente los beneficios de la impresión 3D en el planeamiento quirúrgico de la TAVR.

La impresión 3D permite a los profesionales sanitarios valorar de forma previa a la intervención la misma, valorando la mejor ruta de actuación y probando distintas válvulas para verificar cuál es la que se ajusta más a las necesidades de cada paciente, consiguiendo reducir con ello las complicaciones durante el procedimiento quirúrgico.

### Declaraciones

### Agradecimientos

Este trabajo surgió como consecuencia del curso “publicación de artículos biomédicos, V Ed.”, de la Universidad de Granada. Por ello, queremos agradecer a todos los referentes que nos han ayudado en la elaboración de este artículo.

### Conflictos de interés

Los autores declaran no tener ningún conflicto de interés.

### Financiación

Ninguna.

## Referencias

1. Una de cada ocho personas de 75 o más años padece alguna valvulopatía moderada - Sociedad Española de Cardiología [Internet]. [citado 2023 Mar 23]. Disponible en: <https://secardiologia.es/comunicacion/notas-de-prensa/notas-de-prensa-sec/13588-una-de-cada-ocho-personas-de-75-o-mas-anos-padece-alguna-valvulopatia-moderada>
2. Iung B, Vahanian A. Epidemiology of valvular heart disease in the adult. *Nat Rev Cardiol*. 2011 Mar;8(3):162-72.
3. Levin D, Mackensen GB, Reisman M, McCabe JM, Dvir D, Ripley B. 3D Printing Applications for Transcatheter Aortic Valve Replacement. *Curr Cardiol Rep*. 2020 Feb;22(4):23.
4. Arefin AME, Khatri NR, Kulkarni N, Egan PF. Polymer 3D Printing Review: Materials, Process, and Design Strategies for Medical Applications. *Polymers*. 2021 May;13(9):1499.
5. López-Gómez P, González-Alcaide M. Tecnologías de impresión 3D en ingeniería tisular para la reparación de patologías degenerativas de columna. *AMU*. 2021; 3(1):136-155
6. Faletti R, Gatti M, Cosentino A, Bergamasco L, Cura Stura E, Garabello D, et al. 3D printing of the aortic annulus based on cardiovascular computed tomography: Preliminary experience in pre-procedural planning for aortic valve sizing. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2018 May;12(5):391-7.
7. Hosny A, Dilley JD, Kelil T, Mathur M, Dean MN, Weaver JC, et al. Pre-procedural fit-testing of TAVR valves using parametric modeling and 3D printing. *J Cardiovasc Comput Tomogr*. 2019 Ene;13(1):21-30.
8. Thorburn C, Abdel-Razek O, Fagan S, Pearce N, Furey M, Harris S, et al. Three-dimensional printing for assessment of paravalvular leak in transcatheter aortic valve implantation. *J Cardiothorac Surg*. 2020 Ago;15:211.
9. Reiff C, Zhingre Sanchez JD, Mattison LM, Iaizzo PA, Garcia S, Raveendran G, et al. 3-Dimensional printing to predict paravalvular regurgitation after transcatheter aortic valve replacement. *Catheter Cardiovasc Interv*. 2020;96(7):703-10.
10. Zhou X, Vannan MA, Qian Z. 3D printing for transcatheter aortic valve replacement: Integrating anatomy and physiology to plan, predict and optimize procedural outcomes. *Int J Cardiol*. 2018 May;258:334-5.
11. Xenofontos P, Zamani R, Akrami M. The application of 3D printing in preoperative planning for transcatheter aortic valve replacement: a systematic review. *Biomed Eng OnLine*. 2022 Sep;21:59.
12. Tuncay V, van Ooijen PMA. 3D printing for heart valve disease: a systematic review. *Eur Radiol Exp*. 2019 Feb;3(1):9.
13. Rotman OM, Kovarovic B, Sadasivan C, Gruberg L, Lieber BB, Bluestein D. Realistic Vascular Replicator for TAVR Procedures. *Cardiovasc Eng Technol*. 2018 Sep;9(3):339-50.
14. Kwong R, Yucel E. Computed Tomography Scan and Magnetic Resonance Imaging. *Circulation*. 2003 Oct;108(15):104-6.
15. van der Bijl P, Bax JJ. Cognitive implications of subclinical leaflet thrombosis after transcatheter aortic valve implantation. *Eur Heart J - Cardiovasc Imaging*. 2022 Nov;23(12):1596-7.
16. Gatti M, Cosentino A, Cura Stura E, Bergamasco L, Garabello D, Pennisi G, et al. Accuracy of cardiac magnetic resonance generated 3D models of the aortic annulus compared to cardiovascular computed tomography generated 3D models. *Int J Cardiovasc Imaging*. 2020 Oct;36(10):2007-15.
17. Yaku H, Saito N, Imai M, Sakamoto K, Toyota T, Watanabe H, et al. Utility of a 3-Dimensional Printed Model to Simulate Transcatheter Aortic Valve Implantation in a Patient With an Intramural Hematoma and a Penetrating Atherosclerotic Ulcer in the Distal Aortic Arch. *Circ Cardiovasc Interv*. 2018 Dec;11(12).
18. Wang K, Zhao Y, Chang YH, Qian Z, Zhang C, Wang B, et al. Controlling the mechanical behavior of dual-material 3D printed meta-materials for patient-

specific tissue-mimicking phantoms. *Mater Des.* 2016 Ene;90:704-12.

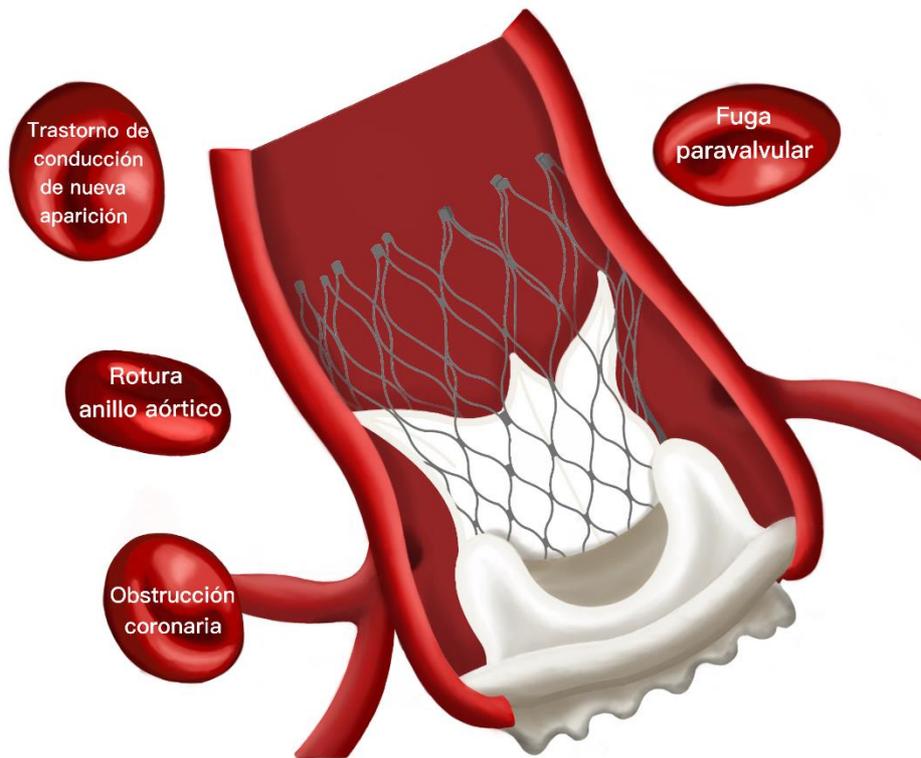
19. Lezhnev AA, Ryabtsev DV, Hamanturov DB, Barskiy VI, Yatsyk SP. Silicone models of the aortic root to plan and simulate interventions. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2020 Ago;31(2):204-9.

20. Zelis JM, Meiburg R, Roijen JJD, Janssens KLPM, van 't Veer M, Pijls NHJ, et al. 3D-printed stenotic aortic valve model to simulate physiology before, during, and after transcatheter aortic valve implantation. *Int J Cardiol.* 2020 Ago;313:32-4.

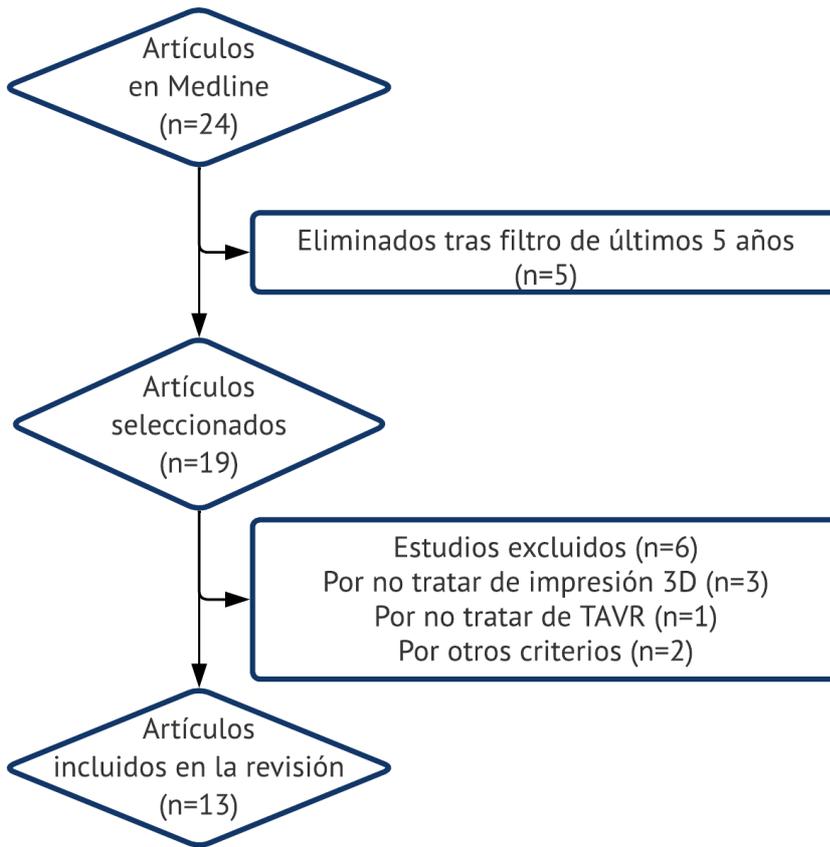
21. Bompotis G, Meletidou M, Karakanas A, Sotiriou S, Sachpekidis V, Konstantinidou M, et al. Transcatheter Aortic Valve Implantation using 3-D printing modeling assistance. A single-center experience. *Hellenic J Cardiol.* 2020 Mar;61(2):131-2.

22. Russo JJ, Yuen T, Tan J, Willson AB, Gurvitch R. Assessment of Coronary Artery Obstruction Risk During Transcatheter Aortic Valve Replacement Utilising 3D-Printing. *Heart Lung Circ.* 2022 Ago;31(8):1134-43.

## Tablas y Figuras



**Figura 1.** Válvula de reemplazo introducida por TAVR en la válvula aórtica. En la imagen se muestran las distintas complicaciones que pueden surgir durante este procedimiento.



**Figura 2.** Diagrama de flujo del proceso de selección