

Impresión 3D en cardiopatías congénitas. Experiencia en un Hospital pediátrico del Gobierno de la Ciudad de Buenos Aires.

Emanuel Alberto Ozcoidi¹, Inés Martínez², Adelia Márquez², Jesús Damsky Barbosa³

Resumen

La impresión en 3D tiene más de tres décadas de existencia, el uso de modelos anatómicos aún se encuentra en una fase inicial de adopción. En nuestro servicio, la incorporación de los primeros modelos comenzó en 2020 a través de colaboraciones de empresas externas. La utilidad descrita en la bibliografía se extiende principalmente a la planificación quirúrgica de cardiopatías complejas, al diseño de parches y prótesis, así como a la simulación en la colocación de dispositivos endocavitarios.

El proceso de segmentación parte de la información contenida en una TC o RM cardíaca del paciente. Se analizan las imágenes bidimensionales y posteriormente se crean los modelos volumétricos mediante un software de código abierto (3D slicer). Se imprime el modelo con la impresora 3D, obteniéndose un "molde" tridimensional del corazón del paciente.

La segmentación de la imagen puede ser manual o automática y debe ser realizada por un profesional capacitado en el conocimiento anatómico necesario y con habilidades en procesamiento de imágenes.

Durante el año 2023 hemos realizado un total de 30 impresiones con distintos enfoques, modelos volumétricos sólidos de visualización externa, modelos huecos abiertos para localización de defectos y modelos huecos cerrados que permiten la navegación interna y la simulación en la colocación de prótesis.

Las reconstrucciones 3D y sus modelos impresos son herramientas de apoyo útiles al diagnóstico que deben ser incorporados en la práctica diaria.

Introducción

El servicio de cardiología infantil del Hospital General de Niños Pedro de Elizalde en la actualidad presta una atención anual aproximada de 13.000 consultas ambulatorias. Estas involucran intervenciones de alta complejidad con un alcance anual de 130-135 estudios hemodinámicos, y 60 ablaciones. En la atención conjunta e integrada con cirugía cardiovascular se realizan en promedio 100 cirugías cardiovasculares al año. Además de la experiencia clínica y quirúrgica acumulada, el uso de la tecnología aplicada a estudios como la ecocardiografía 2D y 3D, los estudios hemodinámicos, la tomografía computada, reconstrucciones 3D y la simulación digital, proporcionan un sólido respaldo en el proceso de toma de decisiones.

A pesar de que la tecnología de impresión en 3D tiene más de tres décadas de existencia, el uso de modelos anatómicos aún se encuentra en una fase inicial de adopción¹. En nuestro servicio, la incorporación de los primeros modelos comenzó en 2020 a través de colaboraciones empresas externas, en donde se trabajó sobre la reconstrucción de colaterales aortopulmonares en pacientes con Atresia Pulmonar con CIV a fin de planificar la mejor estrategia quirúrgica². Esta experiencia inicial fue presentada en el Congreso de la Sociedad Argentina de Cardiología en el 2022. Sin embargo, esta modalidad presentaba limitaciones en su implementación, lo que restringía la utilización del recurso. Por su parte, Lugones, jefe de la unidad de cardiovascular, en colaboración con ingenieros del Gobierno de la ciudad de Buenos Aires, desarrollaron un

¹ Instructor de Residentes del Hospital General de Niños Pedro de Elizalde

² Médico de Planta Servicio Cardiología del del Hospital General de Niños Pedro de Elizalde

³ Jefe del Servicio Cardiología del del Hospital General de Niños Pedro de Elizalde

Correspondencia: Emanuel Alberto Ozcoidi. Correo electrónico: emanuelozco@gmail.com

Trabajo recibido el 29 febrero 2024 y aprobado el 18 marzo 2024

molde mediante impresión 3D para la creación de válvulas aórticas protésicas. Esto fue publicado en el trabajo Carlson Hanse y col³. Posteriormente, en el año 2021, el servicio de cardiología de nuestro hospital recibió una donación de una impresora 3D TRIMAKER COSMOS 2, lo que marcó un cambio en la dinámica diaria que allanó el camino para una mayor integración y aprovechamiento de esta herramienta diagnóstica.

Implementación en la práctica diaria

Para aquellos que se inician en el uso de esta tecnología, surgen naturalmente dudas acerca de cómo implementarla, especialmente en países en vías de desarrollo, donde el costo de los materiales, los softwares y la necesidad de personal capacitado representan desafíos significativos. Además, las limitaciones tecnológicas existentes en las instituciones agregan otra capa de dificultad. A esto le podemos sumar el hecho de que, en la actualidad, la evidencia sobre el impacto real de esta práctica es limitada.

¿Qué nos aporta esta tecnología? La utilidad descrita en la bibliografía se extiende principalmente a la planificación quirúrgica de cardiopatías complejas, al diseño de parches y prótesis, así como a la simulación en la colocación de dispositivos endocavitarios⁴. Desde nuestro punto de vista, coincidimos con Townsend y Pietila en que la integración de nueva tecnología en la institución implica una curva de aprendizaje que no solo ayuda a construir conocimiento, eleva la calidad en la

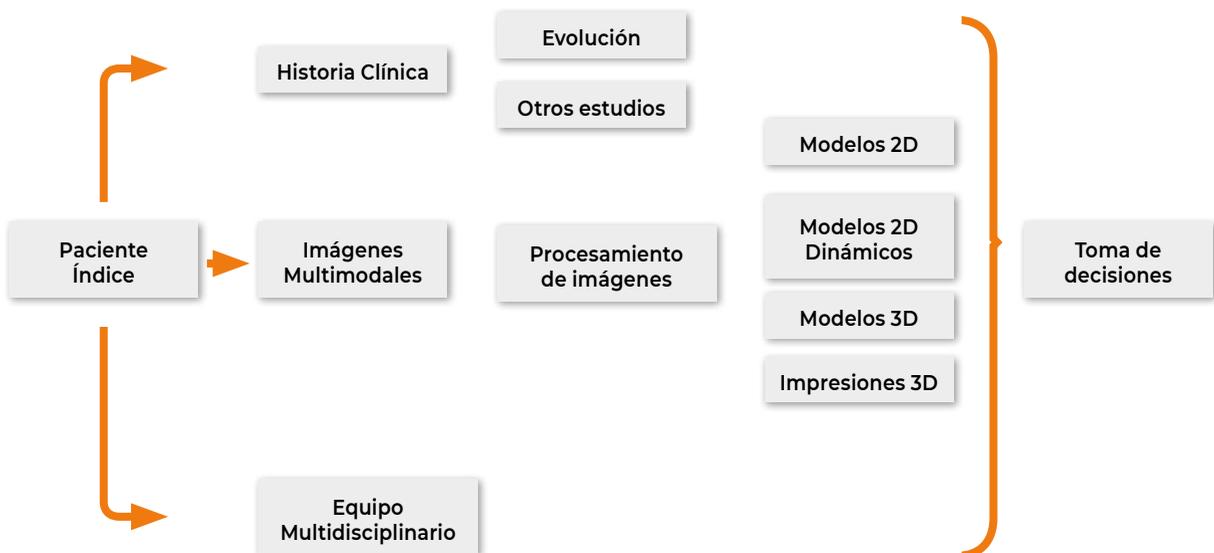
planificación y desarrollo de prácticas complejas, sino que también impulsa la innovación⁵.

Como herramienta didáctica, facilita la comprensión tanto de la anatomía 3D normal como patológica, lo que simplifica el entrenamiento de los profesionales de la salud⁶.

La posibilidad de realizar simulaciones de procedimientos médicos da a los profesionales la oportunidad de practicar y perfeccionar sus habilidades en un entorno controlado, lo que a su vez mejora la seguridad y eficacia de los tratamientos⁶.

¿Cómo lo llevamos adelante? En la práctica diaria la aplicación se lleva sobre resonancias y tomografías, aunque podría aplicarse sobre ecografías de adquisición 3D. Se parte de la información contenida en una TC o RM cardíaca del paciente. Se analizan las imágenes bidimensionales y posteriormente se crean los modelos volumétricos mediante un software de código abierto (3D slicer). Se imprime el modelo con la impresora 3D, obteniéndose un "molde" tridimensional del corazón del paciente. Estos modelos otorgan información más detallada de la anatomía particular de ese paciente, contribuyendo en la toma de decisiones al momento de discutir el abordaje terapéutico en forma interdisciplinaria entre cardiólogos clínicos, hemodinamistas, cirujanos cardiovasculares y otras especialidades intervinientes. (Figura 1). Finalmente, sobre los modelos pueden simularse las intervenciones decididas.

Figura 1. Procesos para la toma de decisiones



Creación del modelo: De la imagen a la pieza
Nuestro proceso comienza con la adquisición de imágenes de alta calidad en formato “digital imaging and communication in medicine” (DICOM) el cual lo hace adecuado para el pos procesamiento de imágenes. Las imágenes DICOM se importan luego a un software especializado (3D slicer, Mimics) de procesamiento de imágenes para así definir y seleccionar las regiones anatómicas de interés en un proceso llamado segmentación. La segmentación es seguida por la representación de volumen 3D y el modelado digital de estructuras específicas del paciente.

Los modelos anatómicos digitales tridimensionales se guardan en formatos de archivo de Lenguaje de Teselación Estándar o STereoLithography (stl)¹. Estos contienen información de malla de superficie de geometrías complejas adecuadas para la impresión, permitiendo llegar a la última etapa de laminación y formación del archivo tipo g-code. Un archivo g-code contiene en su interior toda la información que necesita la impresora 3D para realizar los movimientos que hace el cabezal y la cantidad de filamento que se necesita capa por capa para producir una pieza 3D.

En la figura 2 podemos observar los pasos del

proceso de transformación, desde el archivo dicom de una tomografía hasta la obtención del archivo g-code listo para imprimir.

Creación del volumen

Los algoritmos de segmentación pueden ser automáticos o semiautomáticos. Debido a la complejidad y variabilidad de intensidades en las imágenes de muestra, estos pueden no ser capaces de detectar específicamente los defectos y generar falsos positivos o falsos negativos.

Los modelos de extracción automática de volúmenes renderizados (generación de una imagen a partir de un modelo tridimensional), se obtienen mediante la extracción de filtros generados por el software del fabricante.

La segmentación manual requiere conocimientos para cubrir cualquier anomalía que un algoritmo automatizado no pueda detectar. Una de las técnicas de segmentación más comunes es la del umbral (thresholding). (Figura 3). El umbral define un ROI (zona de segmentación) en función de un rango de valores de intensidad. Cada voxel (unidad de definición de imagen) que tenga un valor de intensidad dentro del umbral se agrega al ROI.

Figura 2.

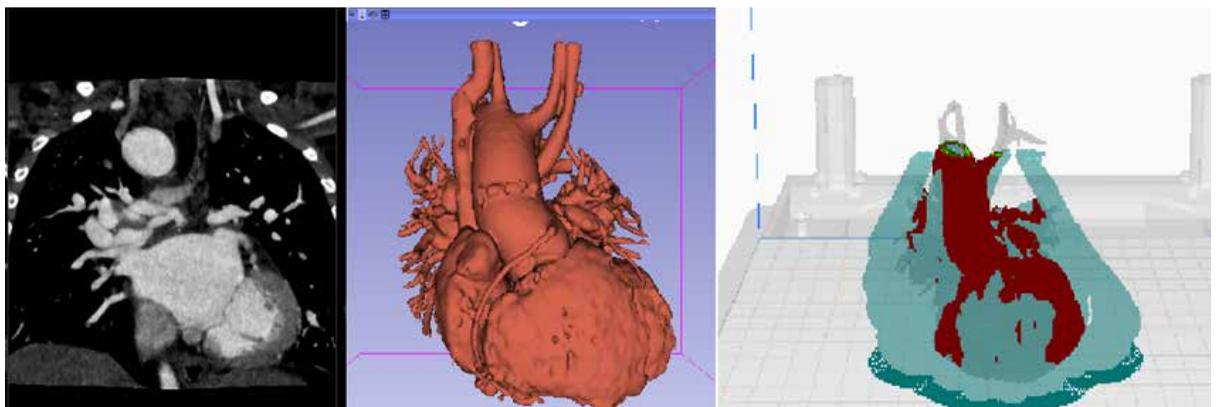


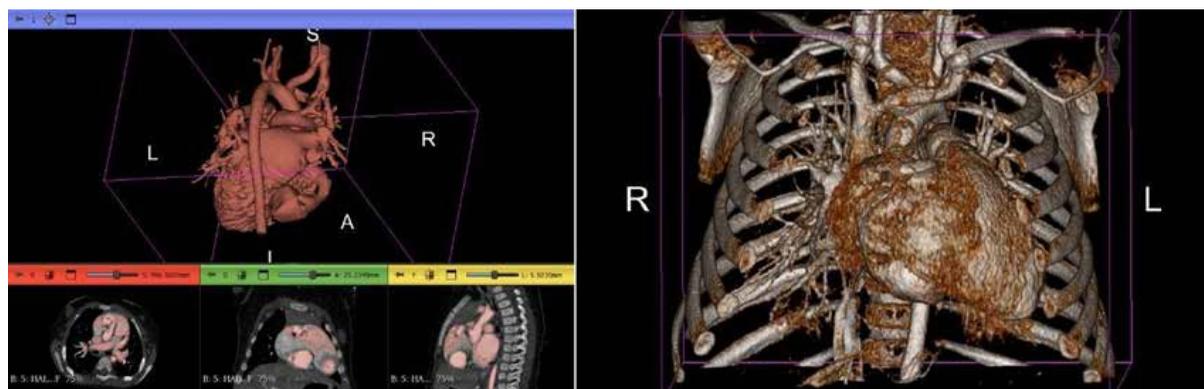
Figura 2 De izquierda a derecha observamos una imagen bidimensional coronal de un tórax obtenida de la reproducción de un archivo dicom. La imagen central corresponde a la reconstrucción 3D y creación de archivo stl. Por último a la derecha se observa la laminación de la pieza lista para ser impresa (archivo g-code)

Esta técnica es simple y eficiente al segmentar estructuras anatómicas homogéneas con alto contraste entre estructuras circundantes.

El proceso de segmentación debe ser realizado por un profesional capacitado en el conocimiento anatómico necesario y con habilidades en procesamiento de imágenes.

Típicamente, esto lo realiza un radiólogo, pero también puede ser realizado por un médico, ingeniero biomédico o tecnólogo de TC/RM.

Figura 3. Segmentación manual



Modelos realizados en el Hospital Pedro de Elizalde

Durante el año 2023 hemos realizado un total de 30 impresiones con distintos enfoques, modelos volumétricos sólidos de visualización externa, modelos huecos abiertos para localización de defectos y modelos huecos cerrados que permiten la navegación interna y la simulación en la colocación de prótesis. En la figura 4 podemos observar las distintas impresiones realizadas en sus variables.

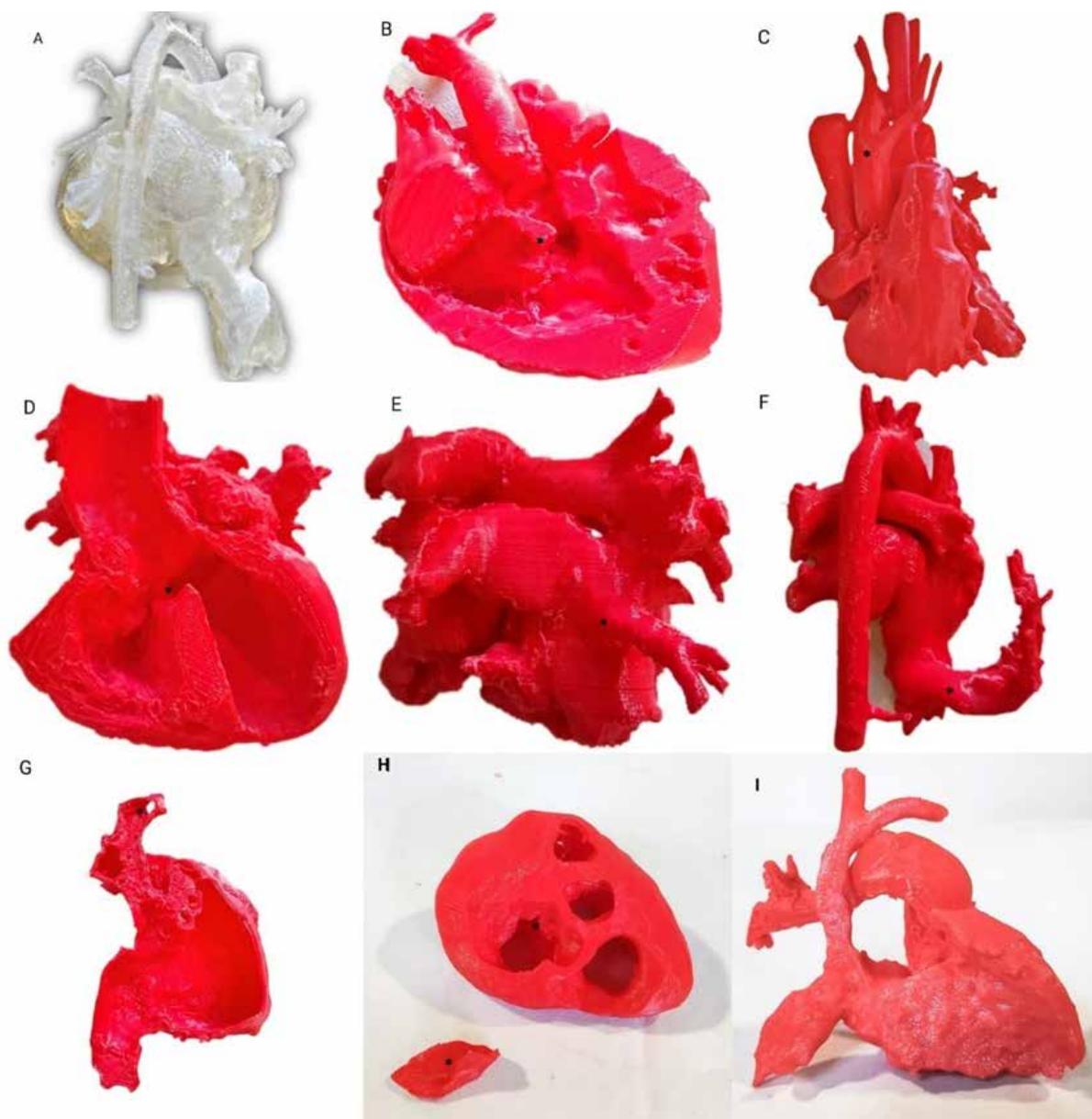
En la imagen A se observa un modelo de corazón normal desde una vista posterior, hueco en su totalidad y de material transparente, el mismo permite realizar navegaciones internas, útiles para prácticas intervencionistas.

En los modelos B y D se observan sendos defectos interventriculares (asteriscos) en una Doble salida ventricular derecha (B) y en una atresia pulmonar con CIV (D). También pode-

mos observar patologías de los grandes vasos como un doble arco aórtico completo (C), y variantes de anomalías parciales del retorno venoso pulmonar, a vena cava superior (G), a vena cava inferior (F) y a aurícula derecha (E). En la imagen H se observa una vista superior de un corazón con defecto interventricular y el modelo del parche diseñado de manera digital. Por último, observamos la evaluación postoperatoria de un doble switch focalizado en las conexiones derechas (I).

La integración de esta tecnología nos abre las puertas a la implementación de distintos materiales de aplicaciones variables, ya sea en investigación, modelos académicos, materiales de simulación con texturas similares a los tejidos, o aquellos que sean radiolúcidos para la simulación de procedimientos radiodiagnósticos.

Figura 4. Modelos impresos en el hospital de niños Pedro de Elizalde.



Limitaciones

En la actualidad, para obtener segmentaciones confiables, se requiere partir de información obtenida de RMC o TC de 64 filas o más, debido a que los pacientes pediátricos manejan frecuencias cardíacas elevadas, lo que produce una gran movilidad de las estructuras a analizar. Es por ello que hasta el momen-

to hemos tenido que recurrir muchas veces a imágenes de TC y RMC obtenidas en otras instituciones, lo que ha limitado considerablemente el desarrollo de la técnica en nuestra institución. Algo similar nos ha ocurrido con la adquisición de imágenes a partir de ecocardiografía 3D, por carecer del software necesario para procesarlas.

Conclusión.

Las reconstrucciones 3D y sus modelos impresos son herramientas de apoyo útiles al diagnóstico que pueden ser incorporados en la práctica diaria a fin de mejorar la comprensión de las patologías y brindar fiabili-

dad a la realización de las intervenciones. Además, tiene el potencial de permitir la realización de simulacros terapéuticos sobre la pieza que emula el defecto anatómico específico del paciente, previo a su intervención efectiva.

Bibliografía

1. Sociedad Argentina de Pediatría. Recomendaciones para el manejo de las infecciones respiratorias agudas bajas en menores de 2 años. Actualización 2021. Disponible en https://www.sap.org.ar/uploads/consensos/consensos_consenso-irab-2021-121.pdf
2. Kirolos A, Manti S, Blacow R, Tse G, Wilson T, Lister M, Cunningham S, Campbell A, Nair H, Reeves RM, Fernandes RM, Campbell H; RESCEU Investigators. A Systematic Review of Clinical Practice Guidelines for the Diagnosis and Management of Bronchiolitis. *J Infect Dis.* 2020 Oct 7;222(Suppl 7):S672-S679. doi: 10.1093/infdis/jiz240. Erratum in: *J Infect Dis.* 2020 Mar 16;221(7):1204. PMID: 31541233.
3. National Institute for Health and Care Excellence. Bronchiolitis: diagnosis and management of bronchiolitis in children, clinical guideline NG9. Actualización 2021. Disponible en <https://www.nice.org.uk/guidance/ng9>
4. Ministerio de Salud, Argentina. Procedimiento para la implementación de la Terapia con Cánula Nasal de Alto Flujo en pacientes de 1 a 24 meses con IRAB-SBO y dificultad respiratoria moderada. Manual de procedimiento. 2021. Disponible en <https://bancos.salud.gob.ar/recurso/manual-de-procedimiento-para-la-implementacion-de-la-terapia-con-canula-nasal-de-alto-flujo>
5. Manti S, Staiano A, Orfeo L, Midulla F, Marseglia GL, Ghizzi C, Zampogna S, Carnielli VP, Favilli S, Ruggieri M, Perri D, Di Mauro G, Gattinara GC, D'Avino A, Becherucci P, Prete A, Zampino G, Lanari M, Biban P, Manzoni P, Esposito S, Corsello G, Baraldi E. UPDATE - 2022 Italian guidelines on the management of bronchiolitis in infants. *Ital J Pediatr.* 2023 Feb 10;49(1):19. doi: 10.1186/s13052-022-01392-6. PMID: 36765418; PMCID: PMC9912214.
6. Ministerio de Salud, Gobierno de la Provincia de Buenos Aires. Recomendaciones en pediatría para la implementación de la terapia de alto flujo de oxígeno (TAFO) en contexto de COVID-19. 2020. Disponible en <https://portal-coronavirus.gba.gob.ar/sites/default/files/Recomendaciones%20en%20pediatr%C3%ADa%20para%20la%20implementaci%C3%B3n%20de%20la%20terapia%20de%20Alto%20Flujo%20de%20Ox%C3%ADgeno.pdf>