



**Universidad del
Rosario**



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

**Reconfiguración progresiva de la comprensión anatómica: un estudio de teoría
fundamentada sobre la interacción con impresión 3D y realidad virtual**

Autores:

Julián Francisco Forero Melo.

Albert Franz Guerrero Becerra.

Manuel Álvarez Gaviria.

Tutora:

Karin Natalia Perdomo Nuñez

Título por el que opta:

Magíster en educación para profesionales de la salud

Escuela de Medicina y Ciencias de la Salud – Facultad de Medicina

Maestría en educación para profesionales de la salud

Universidad del Rosario – Pontificia Universidad Javeriana

Bogotá - Colombia

Junio 2026

Contenido

Resumen

Introducción

Marco teórico

Métodos

Diseño del estudio

Equipo investigador

Reflexividad

Escenario/entorno

Recolección de la información

Análisis de los datos

Entrevistas y codificación inicial. El proceso iterativo

Codificación enfocada (focused) y primer grupo de categorías emergentes.

Segundo grupo de categorías emergentes

Consideraciones Éticas

Resultados

Condiciones previas al aprendizaje

Experiencia mediada por la tecnología

Activación del proceso de aprendizaje

Reconfiguración progresiva de la comprensión (Núcleo del proceso)

Transferencia y aplicación clínica

Dimensiones transversales

Discusión

La reconfiguración del conocimiento anatómico

El modelo teórico

El aprendizaje multisensorial

La dimensión social y afectiva

La proyección al campo disciplinar

Limitaciones

Consecuencias de la perspectiva empleada.

Aplicación en otros contextos

Conclusiones

Bibliografía

Anexos

Resumen

INTRODUCCIÓN. Aprender conceptos anatómicos complejos exige alta capacidad visoespacial. Aunque la Impresión 3D (I3D) y la Realidad Virtual (RV) ofrecen nuevas oportunidades para la enseñanza de estructuras tridimensionales complejas, sus mecanismos sociocognitivos subyacentes requieren mayor exploración. Este estudio busca comprender cómo se construye el conocimiento al interactuar con estas representaciones. **MÉTODOS.** Se realizó un estudio cualitativo utilizando teoría fundamentada constructivista. Diez residentes participaron en entrevistas semiestructuradas tras interactuar con modelos tridimensionales de cardiopatías congénitas. Los datos se analizaron iterativamente mediante codificación abierta, enfocada y categorización teórica. **RESULTADOS.** Los participantes describieron su interacción permitiendo identificar distintas dimensiones relacionadas con la experiencia de aprendizaje mediada por representaciones tridimensionales. Se describieron cambios progresivos en la comprensión de relaciones anatómicas complejas a través de la exploración espacial, la manipulación activa de estructuras y la integración con conocimientos previos. Asimismo, se identificaron factores afectivos y sociales que influyeron transversalmente en la experiencia. Los participantes también describieron diferencias complementarias entre la realidad virtual y la impresión tridimensional y, por último, implicaciones para la transferencia hacia la práctica clínica. **CONCLUSIONES.** Las representaciones tridimensionales favorecen un proceso progresivo de reorganización de la comprensión anatómica mediante exploración espacial, la interacción sensoriomotora, la integración de conocimiento y experiencias previas y la influencia transversal de factores emocionales y sociales. Los hallazgos muestran que estas técnicas son complementarias para facilitar la comprensión y transferencia a contextos clínicos. Este modelo teórico emergente aporta al entendimiento del papel de estas tecnologías en la educación médica,

al evidenciar su influencia sobre procesos cognitivos, afectivos y sociales involucrados en el aprendizaje anatómico.

Palabras clave: aprendizaje de anatomía, educación médica, teoría fundamentada, reconfiguración del conocimiento, realidad virtual, impresión 3D, cognición corporizada, aspectos afectivos del aprendizaje.

Introducción

La anatomía humana constituye uno de los fundamentos esenciales en la formación de los profesionales de la salud. El conocimiento anatómico permite comprender la organización estructural del cuerpo humano, interpretar los procesos fisiopatológicos y desarrollar habilidades clínicas indispensables para la práctica médica (Caswell et al., 2015). No obstante, el aprendizaje de la anatomía continúa representando un desafío importante debido a la complejidad espacial de las estructuras anatómicas y a la necesidad de integrar múltiples planos y relaciones tridimensionales (Caswell et al., 2015).

Tradicionalmente, la enseñanza anatómica se ha apoyado en clases magistrales, atlas anatómicos y disección cadavérica (Louw et al., 2009). Aunque estos métodos han demostrado un valor histórico y pedagógico significativo, las transformaciones curriculares contemporáneas, la disminución del tiempo destinado a las ciencias básicas y las nuevas demandas de integración clínica han impulsado la búsqueda de estrategias educativas complementarias (Bergman et al., 2011).

En este contexto, las tecnologías de representación tridimensional, incluyendo impresiones tridimensionales (I3D), realidad aumentada (RA) y realidad virtual (RV), han emergido como herramientas con un importante potencial pedagógico para la enseñanza de la anatomía. Estas tecnologías permiten manipular estructuras anatómicas complejas, visualizar relaciones espaciales dinámicas y favorecer experiencias inmersivas de aprendizaje ofreciendo una visualización espacial superior a los métodos bidimensionales tradicionales (Azer, 2016; Chytas et al., 2023). En consecuencia, el interés por su implementación en la educación en ciencias de la salud ha crecido significativamente durante los últimos años (Azer, 2016; Wang et al., 2024).

La investigación sobre estas tecnologías ha sido diversa, con predominio de estudios cuasi experimentales y ensayos controlados aleatorios orientados principalmente a evaluar resultados académicos, satisfacción estudiantil y niveles de motivación (Alhonkoski et al., 2021; Azer, 2016; Minouei et al., 2024; Wang et al., 2024; Williams et al., 2025; Zhao et al., 2020). Diversas investigaciones han reportado beneficios relacionados con la comprensión espacial, la motivación y la participación activa de los estudiantes (Losco et al., 2017). Asimismo, algunos estudios sugieren que la eficacia de estas herramientas puede variar según la experiencia previa de los participantes, observándose con frecuencia mayores beneficios en estudiantes de pregrado que en residentes con mayor experiencia clínica (Asghar et al., 2022; Chytas et al., 2023; Zhao et al., 2020).

No obstante, a pesar del creciente interés y del potencial prometedor atribuido a estas herramientas, la evidencia disponible continúa mostrando resultados heterogéneos respecto a su impacto en los resultados objetivos de aprendizaje. Las revisiones publicadas señalan dificultades derivadas de la heterogeneidad metodológica, la falta de estandarización y la necesidad de investigaciones más rigurosas para establecer conclusiones consistentes (Chytas et al., 2023; Minouei et al., 2024; Williams et al., 2025; Zhao et al., 2020). Del mismo modo, estas publicaciones coinciden en la necesidad de investigar el aprendizaje a largo plazo, la relación costo-efectividad y la estandarización conceptual y metodológica para maximizar el valor educativo de estas tecnologías (Chytas et al., 2020; Chytas et al., 2023; Williams et al., 2025; Zhao et al., 2020).

Más allá de los resultados académicos, persiste un vacío importante relacionado con la comprensión de los procesos mediante los cuales los estudiantes construyen el conocimiento anatómico durante la interacción con estas tecnologías (McMenamin et al., 2018). En muchas de

estas experiencias, los mecanismos que explican los beneficios descritos no son abordados en profundidad, lo que evidencia la necesidad de fortalecer el fundamento teórico sobre la interacción entre los estudiantes y las representaciones tridimensionales (Azer & Azer, 2016). En esta línea, Ding y colaboradores (2024) propusieron que el impacto positivo de estas tecnologías sobre la resiliencia de aprendizaje de estudiantes universitarios podría explicarse mediante mecanismos mediadores como el fomento de emociones positivas y la reducción de la carga cognitiva.

Comprender cómo ocurre este aprendizaje resulta particularmente relevante en educación médica, ya que permitiría diseñar experiencias pedagógicas más efectivas, contextualizadas y centradas en el estudiante. Asimismo, contribuiría a explicar cómo intervienen dimensiones cognitivas, emocionales y sociales en la apropiación del conocimiento anatómico mediado por tecnologías tridimensionales.

En este contexto, el presente estudio se desarrolló desde una perspectiva constructivista-interpretativa con el propósito de comprender cómo los participantes construyen el conocimiento anatómico a partir de la interacción con representaciones tridimensionales. El estudio se llevó a cabo en el contexto de un taller orientado a enseñar conceptos anatómicos complejos relacionados con cardiopatías congénitas mediante el uso de RV e I3D. A partir de lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación: **¿Cómo construyen los participantes conceptos anatómicos complejos a partir de la interacción con representaciones tridimensionales?**

Para responder a esta pregunta, el **objetivo principal** fue comprender cómo los participantes construyen conceptos anatómicos complejos a partir de su experiencia e interacción con representaciones tridimensionales. Para cumplir el objetivo principal, se plantearon los siguientes **objetivos específicos**:

1. Indagar en los procesos cognitivos, emocionales y sociales que los participantes vivencian durante su interacción con representaciones tridimensionales en el aprendizaje anatómico.
2. Describir los fenómenos emergentes que se manifiestan en la relación entre los participantes y las representaciones tridimensionales y cómo estos configuran la comprensión del conocimiento anatómico.
3. Interpretar las percepciones de los participantes acerca del uso de las representaciones tridimensionales en comparación con otras estrategias de enseñanza de la anatomía.
4. Construir un modelo teórico inicial que dé cuenta de los procesos mediante los cuales los participantes construyen su aprendizaje de anatomía a partir de la interacción con representaciones tridimensionales.

Marco teórico

Esta investigación adopta como antecedentes centrales la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia de Mayer y la teoría sociocultural del aprendizaje mediado de Vygotsky. Ambas permiten articular de manera integral las dimensiones cognitivas y sociales del aprendizaje, ofreciendo un sustento sólido para interpretar los hallazgos.

Richard Mayer (Mayer, 2021) propone que el aprendizaje ocurre cuando los estudiantes seleccionan, organizan e integran información a través de los canales visual y verbal. La interacción con modelos tridimensionales acompañados de narración o guías activa este procesamiento dual, facilitando la retención y la transferencia del conocimiento.

Los principios del aprendizaje multimedia —como segmentación, señalización y personalización— han mostrado reducir la carga cognitiva extrínseca y potenciar un procesamiento generativo (Mayer, 2021). En anatomía, esto se traduce en que los estudiantes no solo memorizan estructuras, sino que logran comprender sus relaciones espaciales y funcionales (Luursema, Vorstenbosch, & Kooloos, 2017).

Desde otra perspectiva, Lev Vygotsky (Kaufman, 2108) sostiene que el aprendizaje es un proceso esencialmente social y culturalmente mediado. Los individuos no construyen conocimiento de manera aislada, sino a través de interacciones con pares, docentes y herramientas culturales. En este marco, los modelos 3D, la RA y la RV no son simples recursos visuales, sino mediadores simbólicos que amplían las capacidades de los estudiantes para comprender y aplicar la anatomía en contextos clínicos.

El concepto de zona de desarrollo próximo (ZDP) resulta especialmente pertinente: los entornos de simulación y las actividades colaborativas con RA y RV permiten que los

estudiantes realicen tareas que no lograrían solos, siempre que cuenten con la mediación de un docente o la cooperación de sus pares (García-Huamantumba et al., 2024). De este modo, se consolida un aprendizaje con mayor significado y aplicabilidad clínica.

Esta perspectiva justifica que el análisis no se limite al procesamiento cognitivo individual, sino que considere las dinámicas sociales, contextuales y culturales que emergen en escenarios educativos mediados tecnológicamente.

En consecuencia, Mayer y Vygotsky constituyen antecedentes teóricos complementarios: Mayer aporta el nivel cognitivo del procesamiento de información y Vygotsky aporta el nivel sociocultural y contextual.

Métodos

Diseño del estudio

La investigación se desarrolló desde un enfoque cualitativo interpretativo sustentado en el paradigma constructivista. El diseño metodológico correspondió a la teoría fundamentada constructivista propuesta por Kathy Charmaz (Charmaz, 2014), la cual permite explorar cómo los participantes construyen significados a partir de sus experiencias y generar explicaciones teóricas emergentes derivadas de los datos. Este diseño fue seleccionado debido a su pertinencia para comprender cómo los participantes interpretan la interacción con modelos tridimensionales y cómo estas herramientas median la construcción del conocimiento anatómico. Asimismo, la teoría fundamentada constructivista favorece un proceso iterativo de recolección y análisis de datos basado en la comparación constante, lo que permite desarrollar un modelo interpretativo contextualizado sobre la experiencia de aprendizaje.

Equipo investigador

El equipo está constituido por tres aspirantes al título de Maestría en Educación para Profesionales de la Salud, en el programa conjunto de la Universidad del Rosario y la Universidad Javeriana. Los tres miembros del equipo son médicos, con especializaciones en cirugía cardiovascular pediátrica, cardiología/cardiopatías congénitas del adulto y radiología/imágenes cardiovasculares. Esto permitió configurar un grupo con interés común en el uso de técnicas de representación tridimensional para la enseñanza de anatomías complejas (en este caso, anatomía cardiovascular aplicada a cardiopatías congénitas). Esta diversidad en los tipos de entrenamiento y experiencia previa fue aprovechada para hacer más amplia la visión en la realización del análisis y formulación de los resultados.

Reflexividad

Los intereses y especialidades de los investigadores enriquecieron la sensibilidad teórica del estudio y favorecieron la comprensión de las experiencias descritas por los participantes. No obstante, estas perspectivas también exigieron un ejercicio continuo de reflexividad durante la interacción con los participantes, el proceso iterativo de análisis y la construcción interpretativa de los hallazgos. En consonancia con las recomendaciones para investigación cualitativa contemporánea, se reconoció que la subjetividad de los investigadores no constituye únicamente una fuente potencial de sesgo, sino también un elemento inherente y productivo en la co-construcción e interpretación de los datos (Creswell & Creswell, 2023; Olmos-Vega et al., 2023).

Con el propósito de favorecer una reflexión crítica sobre las interpretaciones emergentes y las decisiones analíticas, se elaboraron memos analíticos a lo largo del proceso de investigación. Asimismo, la diversidad disciplinar del equipo facilitó procesos de triangulación entre investigadores, integrando perspectivas clínicas, quirúrgicas y de imagen en la discusión y análisis de los datos.

Finalmente, el análisis y la construcción de categorías se consolidaron mediante iteraciones conjuntas de codificación y sesiones periódicas de discusión orientadas a revisar discrepancias interpretativas y alcanzar consensos analíticos.

Criterios de calidad

La calidad del estudio se aseguró mediante criterios de credibilidad, transferibilidad, dependencia y confirmabilidad (Lincoln & Guba, 1985; Charmaz, 2014). Estos principios, reinterpretados desde la educación médica, implican que los hallazgos deben ser auténticos, útiles en contextos similares, consistentes en su lógica investigativa y basados en datos más que en prejuicios del investigador (Frambach, van der Vleuten, & Durning, 2013).

Los criterios de calidad empleados, su definición, las estrategias para lograrlos, así como su momento de implementación, se especifican en la tabla 1.

Criterio	Definición	Estrategias aplicadas en este estudio
Credibilidad	Los hallazgos son reconocidos como confiables y verosímiles.	1. Validación por participantes (member checking), 2. Triangulación de investigadores 3. Archivo organizado de datos para verificación externa.
Transferibilidad	Posibilidad de aplicar los hallazgos en contextos educativos similares.	1. Descripción detallada (thick description) de escenarios, tecnologías y participantes. 2. Muestreo intencional. 3. Resonancia teórica con literatura existente.
Confiabilidad (Dependability)	Hallazgos consistentes con los contextos en que se generaron.	1. Saturación teórica. 2. Análisis iterativo durante la codificación. 3. Memos analíticos.
Confirmabilidad	Hallazgos emergen de los datos y no de los prejuicios del investigador.	1. Revisión por par experto.

Tabla 1. Criterios de calidad, definición, estrategias y momento de implementación. Clasificación basada en Frambach, van der Vleuten, & Durning, 2013 .

Escenario/entorno

En el hospital simulado de la Fundación CardioInfantil – Lacardio, se realizaron dos talleres (mayo 25 y junio 21 de 2025) en los cuales se emplearon técnicas de representación tridimensional (RV e I3D) para apoyar la enseñanza de cardiopatías congénitas específicas. Estas patologías tienen en común que representan conceptos anatómicos y fisiológicos complejos.

Estos talleres hacen parte de un proyecto realizado con aprobación y apoyo de Minciencias (Programa 223989785090, Número 744-2021) por el centro de impresión 3D de esta institución en alianza con la facultad de Ingeniería Biomédica de la Universidad de los Andes. Han estado a cargo de un especialista en cardiopatías congénitas del adulto y su grupo de investigación en el centro de impresión 3D (constituido por estudiantes de pregrado que participan en la realización de los proyectos académicos del centro), con participación de uno de los autores (M.A.), vinculado a otra institución.

Los participantes en las tres sesiones son médicos en distintos niveles de formación (estudiantes de posgrado de primera y de segunda especialidad) en distintos programas (cardiología de adultos y pediátrica, cirugía cardiovascular, anestesiología, cuidado intensivo pediátrico y radiología).

La selección inicial se realizó mediante muestreo por conveniencia a partir de las listas de asistencia de los talleres. Los potenciales participantes fueron contactados por correo electrónico o vía telefónica y recibieron información sobre los objetivos del estudio, la voluntariedad de la participación y el manejo confidencial de la información. Aquellos que aceptaron participar completaron el consentimiento informado y posteriormente se programaron entrevistas semiestructuradas en horarios acordados. Se excluyeron quienes no aceptaron participar, no pudieron ser contactados o no asistieron a la entrevista programada. El número de participantes se definió mediante saturación teórica.

Recolección de la información

La recolección de información se realizó mediante entrevistas semiestructuradas individuales orientadas a explorar las experiencias de aprendizaje de los participantes durante su interacción con estas tecnologías. Las entrevistas iniciales (Anexo 1) se desarrollaron utilizando

un guion flexible construido en coherencia con los objetivos de la investigación permitiendo que los participantes narraran libremente sus percepciones, emociones, procesos de comprensión y comparaciones con otras estrategias de aprendizaje anatómico.

Previa autorización a través de consentimiento informado, las entrevistas fueron grabadas en audio y video lo que facilitó su posterior transcripción y análisis. Las entrevistas se llevaron a cabo de manera virtual a través de la plataforma Microsoft Teams (<https://teams.microsoft.com/v2/>) vinculada al correo electrónico institucional (@urosario.edu.co) de uno de los investigadores. Posteriormente, las transcripciones fueron revisadas por el investigador que la realizó para verificar la fidelidad del contenido y anonimizadas, luego fueron enviadas nuevamente a los participantes para validación mediante el proceso de “member checking”.

Análisis de los datos

El análisis de los datos se realizó de manera simultánea a la recolección de información, siguiendo los principios de la teoría fundamentada constructivista propuesta por Kathy Charmaz (Charmaz, 2014) y utilizando el software NVivo (Lumivero, Denver, CO) para facilitar el almacenamiento, la organización y la comparación constante de los datos. Durante el proceso se elaboraron memos analíticos con el fin de documentar decisiones metodológicas, interpretaciones emergentes y reflexiones del equipo investigador.

El análisis se desarrolló en tres etapas:

Entrevistas y codificación inicial. El proceso iterativo

La recolección de datos y la codificación inicial se desarrollaron como un proceso iterativo (Figura 1). El proceso de codificación se realizó siguiendo un análisis detallado línea por línea de las transcripciones, utilizando gerundios para nombrar los códigos iniciales con el

fin de representar acciones, procesos y experiencias. Se generaron versiones progresivas de la codificación y de las entrevistas permitiendo refinar continuamente la interpretación de datos. Con el propósito de fortalecer el rigor analítico, los códigos y categorías emergentes fueron discutidos de manera periódica entre los investigadores mediante procesos de triangulación y comparación constante. Estas discusiones permitieron revisar discrepancias interpretativas, consolidar una lista final de categorías conceptualmente más robustas y profundizar en las relaciones entre los hallazgos emergentes y el fenómeno estudiado.

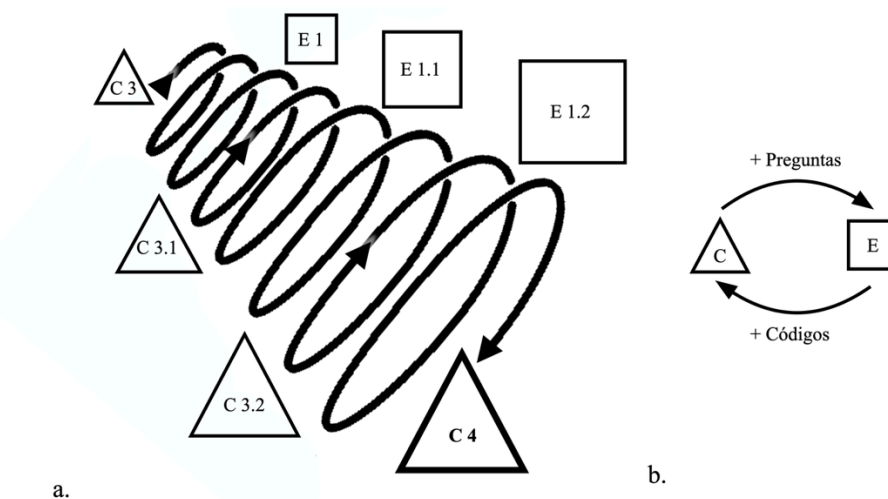


Figura 1 a y b Codificación inicial. Proceso iterativo entre el guión de las entrevistas (E 1, 1.1 ...) y cada una de las codificaciones iniciales (C3, C3.1...) en donde cada entrevista permitió reconocer puntos adicionales para ser considerados en el proceso de codificación y a su vez estos “nuevos” códigos permitían adicionar preguntas o hacer énfasis en algunos de los temas planteados en la entrevistas. Se logra al final del proceso una versión de los códigos (C4) que servirá de base para el análisis posterior.

Codificación enfocada (focused) y primer grupo de categorías emergentes.

El grupo de 42 códigos generados en la fase de codificación abierta fue depurado mediante codificación enfocada (focused) (Figura 2) aplicando dos estrategias principales —la creación de redes semánticas entre códigos que representaban momentos o percepciones aplicadas a situaciones similares (Estrategia 1) y la agrupación por significado y frecuencia (Estrategia 2)— los códigos se condensaron en el primer grupo de categorías emergentes (11 categorías) que se consideraron de alto peso analítico (Tabla 2).

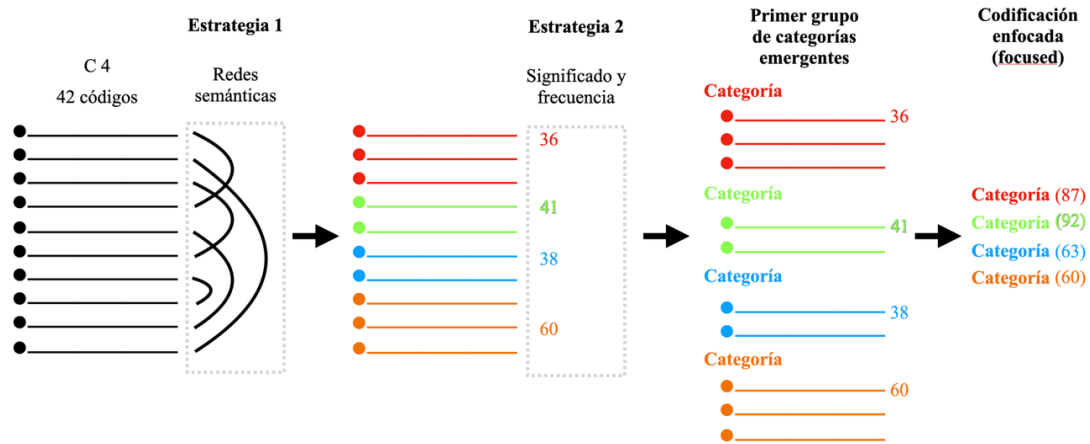


Figura 2. Codificación enfocada (focused). La serie de códigos obtenidos luego del proceso de codificación abierta, permite establecer relaciones entre los códigos a través de redes semánticas (Estrategia 1 y agrupación por colores). Al considerar su significado y la frecuencia en las entrevistas, se establece el primer grupo de categorías emergentes. Junto con los códigos más frecuentes en cada una, permiten enfocar el análisis hacia cada uno de ellos y sus relaciones (codificación enfocada).

	Categorías y códigos vinculados a cada una	Fuentes	Referencias
1	Comparando con metodologías previas	42	116
1	Anticipando y sugiriendo cambios en la enseñanza	8	34
2	Comparando con Esquemas 2D	9	25
3	Encontrando Ventajas frente a técnicas previas	7	23
4	Comparando con texto	5	12
5	Comparando con Especímenes anatómicos y disección	6	9
6	Encontrando que complementa otras técnicas de enseñanza	3	8
7	Encontrando Desventajas frente a técnicas previas	4	5
2	Encontrando factores cognitivos	24	92
8	Relacionando con conceptos previos	7	41
9	Reconociendo la utilidad de tener info previa	7	25
10	Encontrando factores que Facilitan el aprendizaje	4	14
11	Memorizando Conceptos a largo plazo	5	10
12	Integrando estructura y fisiología	1	2
3	Experiencia de interacción	26	58
13	Encontrando barreras técnicas	8	26
14	Recorriendo la curva de aprendizaje	6	12
15	Reconociendo la innovación	7	10
16	Sintiendo Frustración	5	10
4	Impacto en el desempeño disciplinar	21	63
17	Encontrando Aplicación clínica	9	38
18	Aplicando en la Interpretación de imágenes	4	12
19	Encontrando cambios en mi forma de aprender	6	11
20	Mejorando la Comprensión de procedimientos	2	2
5	Interactuando con modelos	16	51
21	Otras interacciones con los modelos	7	30
22	Interactuando, girando los modelos y señalando	9	21
6	Interactuando con otros	13	28
23	Reconociendo el papel de la interacción con docente(s)	6	16
24	Reconociendo el papel de la interacción con otros participantes	7	12
7	Reconociendo Características de la herramienta	9	23
25	Encontrando Limitaciones de las técnicas	7	18
26	Encontrando Diferencias RV vs Impr 3D	2	5
8	Reconociendo emociones	24	42
27	Sintiendo Motivación	5	8
28	Sintiendo Curiosidad	5	7
29	Sintiendo Entusiasmo, emoción	3	7
30	Disfrutando la experiencia	2	6
31	Sintiendo que es un Juego	4	6
32	Sintiendo Sorpresa y asombro	2	4
33	Sintiendo Satisfacción	2	3
34	Sintiendo Confianza	1	1
9	Reconociendo la influencia de factores individuales	21	87
35	Reconociendo la influencia de la Formación previa y mi Especialidad	7	36
36	Reconociendo Estilos personales de aprendizaje	4	22
37	Reconociendo la influencia de la Capacidad de visualización espacial	4	15
38	Reconociendo la influencia del Uso previo de herramientas 3D	6	14
10	Reflexionando sobre el aprendizaje	9	60
39	Reconociendo cambios en la comprensión	9	60
11	Transformando la comprensión	17	49
40	Entendiendo la tridimensionalidad	9	30
41	Visualizando relaciones espaciales entre estructuras	5	12
42	Generando representaciones visuales	3	7

Tabla 2. Códigos y primer grupo de categorías emergentes. Códigos obtenidos luego de los procesos de triangulación y primer grupo de categorías emergentes (Codificación inicial y enfocada). Se incluyen número de fuentes (Entrevistas) y referencias (segmentos de texto con este código) para cada una. El mayor número de referencias se encontró para el código independiente: Reconociendo cambios en la comprensión y para la categoría: Comparando con metodologías previas.

Segundo grupo de categorías emergentes

Para avanzar en el nivel de abstracción del análisis, se exploraron las relaciones entre las categorías emergentes y la manera en que estas contribuyen a explicar el proceso de aprendizaje descrito por los participantes (Figura 3). A través de la comparación se identificó que algunas categorías describían lo que sucedía antes, durante y después de la exploración con los modelos tridimensionales.

Esta codificación permitió organizar la información en un segundo grupo de categorías emergentes (Tabla 3) lo que permitiría proponer el modelo teórico que las relaciona.

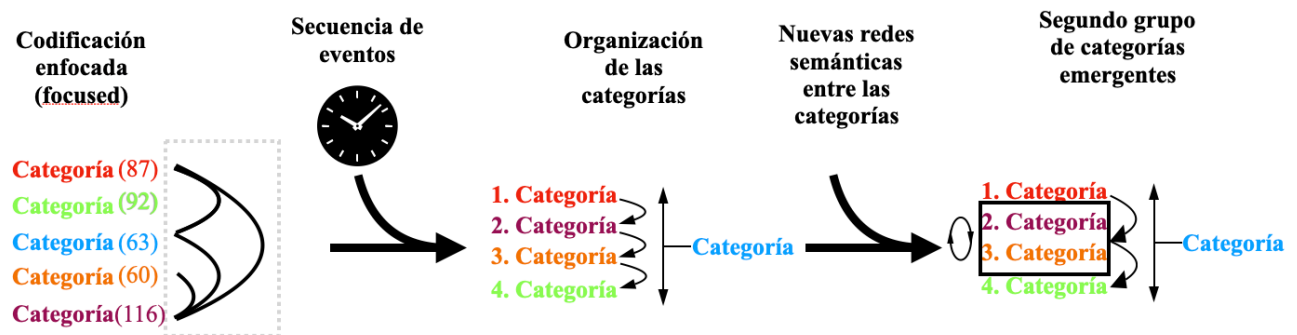


Figura 3. Proceso que llevó al segundo grupo de categorías emergentes. Al analizar el primer grupo de categorías emergentes, ese encuentra una secuencia en la ocurrencia de los eventos, con un carácter similar a un “proceso”. Algunas categorías están presentes durante toda esta secuencia de eventos y otras pueden considerarse como parte de un evento “cíclico”, iterativo, al interior del “proceso” global. Esta codificación dará paso al segundo grupo de categorías emergentes.

Primer grupo de categorías	Segundo grupo de categorías
Reconociendo la influencia de factores individuales	Condiciones previas al aprendizaje
Reconociendo Características de la herramienta	
Experiencia de interacción	Experiencia mediada por la tecnología
Interactuando con modelos	Activación del proceso de aprendizaje
Comparando con metodologías previas	
Encontrando factores cognitivos	Reconfiguración progresiva de la comprensión
Transformando la comprensión	
Reflexionando sobre el aprendizaje	
Impacto en el desempeño disciplinar	Transferencia y aplicación clínica
Reconociendo emociones	Dimensiones transversales
Interactuando con otros	

Tabla 3. Segundo grupo de categorías emergentes. Luego de establecerse una relación de temporalidad en el “proceso”, y de seguir la codificación teórica (Figura), se reorganizan en 6 categorías que las agrupan en momentos identificados del “proceso” y en dimensiones transversales, presentes durante todos los eventos.

Consideraciones Éticas

El grupo de investigadores obtuvo aprobación para realizar el estudio, del comité de investigaciones y del comité de ética en la investigación de la Fundación Cardioinfantil – Lacardio. Uno de los autores (JFFM), que se encuentra vinculado como docente y especialista (Líder médico de imágenes cardiovasculares) con esta institución, presentó el estudio a los comités como investigador principal.

Se obtuvo consentimiento informado de todos los participantes. Se realizó anonimización de todas las transcripciones para garantizar la confidencialidad de los datos. Otro de los investigadores estuvo previamente vinculado con este hospital (AFGB) y MA no ha estado vinculado formalmente, sin embargo, asistió a los talleres como parte del grupo docente en las sesiones.

Se garantizó que no existiera relación de subordinación con quien realizara cada entrevista y anonimizara la transcripción, a través de una matriz en que se relacionaban los entrevistadores y a cuáles participantes podía entrevistar, teniendo en cuenta cuáles residentes habían realizado o realizarían rotaciones en los que existiera relación docente-estudiante con alguno de los investigadores.

Los participantes tuvieron la posibilidad de corregir información antes de su inclusión definitiva en el análisis. Una vez aprobadas, las entrevistas fueron anonimizadas y enumeradas en códigos alfanuméricos (P1, P2, etc.), garantizando la confidencialidad de los participantes.

El texto de las entrevistas, una vez anonimizado, se hizo disponible a los tres entrevistadores para el análisis.

Resultados

La muestra estuvo conformada por diez (10) participantes vinculados al taller de enseñanza de cardiopatías congénitas. Las características de la población se describen en la tabla 4.

Total de entrevistados	10
Género	Masculino: 5 (50%) Femenino: 5 (50%)
Rango de edad	26–35 años (100%)
Nivel más alto de educación completado	• Universitario (pre grado): 3 (30%) • Especialidad médico-quirúrgica: 3 (30%) • Segunda especialidad médico-quirúrgica: 4 (40%)
Duración de entrevistas	Promedio: 31.4 minutos (Rango: 28–38 minutos)

Especialidad médico-quirúrgica que completó o está cursando	Número de entrevistados (%)
Radiología	2 (20%)
Cardiología	3 (30%)
Cardiología pediátrica	1 (10%)
Cirugía cardiovascular	1 (10%)
Cuidado Intensivo Pediátrico	1 (10%)
Medicina Interna	1 (10%)
Anestesiología	1 (10%)

Tabla 4. Descripción de la muestra. Se demuestran las características de la muestra, incluyendo datos demográficos y disciplinas. Todos los entrevistados, al momento de realizar el taller, se encontraban realizando programas de primera o segunda especialidad.

El análisis permitió identificar la reconfiguración progresiva de la comprensión anatómica como fenómeno central que articuló las experiencias descritas por los participantes.

Esta reorganización fue entendida como un proceso dinámico mediante el cual los estudiantes reorganizaron progresivamente sus representaciones anatómicas a través de la interacción activa con modelos tridimensionales. A partir del análisis comparativo y relacional de los datos se identificaron distintas categorías teóricas que describen las condiciones que influyen en el aprendizaje, las formas de interacción con las tecnologías, la activación del proceso de aprendizaje, los aspectos afectivos y sociales que modulan la experiencia y las implicaciones de transferencia hacia contextos clínicos.

Condiciones previas al aprendizaje

En este grupo encontramos “lo que los participantes traen”, sus condiciones personales previas al inicio de la sesión. Es así como los participantes identificaron elementos individuales que influían significativamente en la manera como se aproximaron a la experiencia.

P6. *“Pues claro, estoy súper sesgado porque pues trabajo en esto, veo cardiópatas todo el tiempo. [...] puedo, digamos, hablar muy bien desde la experiencia y [...] de pronto eso hizo la experiencia más provechosa”*

Asimismo, las diferencias individuales en la experiencia previa con herramientas de estas características resultaban significativas al momento de atender la sesión.

P9. *“...sí implica un reto, sobre todo si uno nunca había estado expuesto a esa herramienta.”*

También resultaron significativas las percepciones acerca de la propia capacidad previa para comprender estructuras tridimensionales complejas.

P5. *“lo más desafiante es quizás la espacialidad... qué tan buen sentido de ubicación tenga uno en la anatomía (...) juega un papel importante la orientación espacial”*

P 7. *“... las habilidades visoespaciales son lo más difícil en mi caso. No sé si esto se logra más a través de la memoria o de procesos específicos, pero a mí me costaba”.*

Así como los estilos personales de aprendizaje:

P3. *“soy una persona que recuerda mucho las cosas que ve y que escucha y no tanto las cosas que lee, y nosotros teníamos que leer mucho, mucho, mucho. Yo tenía que leer, memorizar y subrayar”.*

Para algunas participantes mujeres, esta resultaba una concepción previa particular respecto al uso de la realidad virtual:

P 4. *“las mujeres no jugamos tanto videojuegos como los hombres”*

Experiencia mediada por la tecnología

Esta categoría constituye la “entrada” del proceso y es lo que fue referido como el resultado del primer contacto participante-técnica 3D (El efecto de la interacción entre “lo que traen el participante y la herramienta”). Por esta razón, los códigos relacionados en esta categoría (Tabla 1) describen las percepciones en torno a conocer y aprender a interactuar con estas herramientas, reconocer barreras técnicas y recorrer la “curva de aprendizaje” asociada.

Superar esta primera barrera se presenta como un paso previo en el proceso de aprendizaje y parece ser diferente para cada una de las dos técnicas (I3D y RV). Esto resultaba más evidente en el aprendizaje necesario para utilizar la RV (Gafas y controles externos).

P10: *“Recuerdo que la primera patología que me tocó no la pude aprovechar tan bien porque estaba era mirando cómo se ampliaba, cómo lo volteaba. No era capaz de bajarlo para mirar por dónde estaba, no sé, la comunicación o el defecto. Entonces como que no lograba ver bien y ya en las otras, como ya había entendido cómo funcionaba, ya si podía buscar rápido y buscar mi duda rápido, voltearlo donde yo quería y tal”.*

P 5. *“...hablando por ejemplo de las gafas, si uno tiene de pronto la impresión en 3D resulta un poquito más fácil porque pues uno no necesita tener unas gafas, pues entra ahí, le pide al tutor que está al lado que le explique (...) sobre todo cuando se utiliza la realidad virtual, que es en donde uno quizás se encuentra más barreras”.*

Activación del proceso de aprendizaje

Después del contacto con las técnicas, los participantes describieron cómo ocurrió la interacción activa con el modelo tridimensional, caracterizada por la manipulación, exploración y observación dinámica de las estructuras anatómicas. La posibilidad de rotar, ampliar y recorrer los modelos se percibió como facilitadora para establecer relaciones espaciales que resultaban difíciles de identificar mediante representaciones bidimensionales.

P10. *“Me servía mucho voltearlo para poder decir, claro, es que entra por acá, se comunica por acá, pero entonces se va a salir por acá y esos volteándolo si... uno empieza a pensar muchas cosas y quiere ver.”*

Los participantes describieron que la interacción directa con el modelo favorecía una exploración más intencionada de la anatomía, permitiéndoles focalizar estructuras específicas, revisar relaciones anatómicas complejas y volver repetidamente sobre elementos que requerían mayor comprensión.

P3. *“Exactamente eso, yo creo que poder entrar por la aorta y bajar a las cavidades cardíacas como si uno estuviera navegando a través de ellas y poder orientarse espacialmente, creo que fue lo que más me impactó”.*

La experiencia de aprendizaje con recursos tridimensionales también implicó comparar estas representaciones con formas previas de aprendizaje basadas en imágenes bidimensionales (textos y atlas anatómicos). A partir de esta comparación, los participantes identificaban

diferencias en la manera de visualizar, comprender y relacionar las estructuras, especialmente en aspectos asociados con la profundidad, orientación espacial y distribución anatómica.

P1. *“...los libros de anatomía, cuando uno lee libros de anatomía o ve las fotos, y luego se enfrenta a la realidad, la tridimensionalidad del corazón, si es, hace que sea más fácil entenderla mediante un modelo 3D... eso en un libro es muy difícil de imaginarlo... a mí me pasó algo y es que la primera vez que yo vi un corazón en la vida real, yo estaba perdida y yo dije, no, Netter me mintió toda mi vida, porque es que lo que uno ve en Netter no es lo que uno ve en el corazón real, porque la distribución es diferente...”*

P7. *“Porque ya no piensas en letras o solo en texto, sino que empiezas a pensar en imágenes. [...] uno cambia el “chip”, deja de pensar en texto y empieza a pensar más en imágenes”.*

Adicionalmente, los participantes describieron que los modelos tridimensionales no reemplazaban necesariamente otras estrategias de aprendizaje, sino que adquirirían valor en la medida en que permitían complementar y ampliar formas previas de comprensión.

P8. *“Este proceso es progresivo y debe integrar diferentes métodos; aunque la disección de cadáveres es muy útil, no se deben descartar otras herramientas de aprendizaje que también aportan valor. Pienso que las herramientas sirven como base para construir una estructura mental sólida, apoyándose en recursos complementarios que enriquecen el aprendizaje.”*

Reconfiguración progresiva de la comprensión (Núcleo del proceso)

A través de la interacción con los modelos tridimensionales, los participantes describieron un proceso de transformación de su comprensión anatómica. Esta reconfiguración implicó la construcción de representaciones espaciales descritas como más integradas, la

comprensión de relaciones anatómicas previamente difíciles de visualizar y la reorganización de conocimientos previos.

En este grupo, se encuentran contenidas tres categorías que proporcionan testimonios significativos acerca de cómo se reconfigura este conocimiento: encontrando factores cognitivos, transformando la comprensión y reflexionando sobre el aprendizaje (Tabla 1).

P6. *“me toca remodelar los conceptos que tengo. Sí, (...) me toca mirar de otra forma (...) Entonces remodelo justamente esas bases de pensamiento que tengo y las adapto finalmente gracias a que ya lo he logrado remodelar, porque definitivamente es muy complejo a veces uno tener esa imagen en 3D”.*

Los participantes señalaron que el aprendizaje no ocurría de manera inmediata, sino mediante un proceso iterativo en el que la comprensión se iba consolidando gradualmente a medida que interactuaban con el modelo y relacionaban las estructuras observadas con conocimientos anatómicos previamente adquiridos.

P7. *“Es diferente, porque es un proceso más visual; lo que yo había leído antes empezaba a tomar forma cuando lo veía en la realidad virtual o en los modelos tridimensionales. Corregir o reemplazar ideas que tenía previamente... eliminaba conceptos erróneos y los volvía a construir de manera más clara y precisa”.*

P8. *“La experiencia me permitió llenar modelos mentales y construir imágenes tridimensionales completas del corazón, lo que facilitó mi comprensión”.*

Esta transformación progresiva de la comprensión se evidencia en cambios en la forma de visualizar la anatomía, interpretar relaciones espaciales y construir representaciones mentales más completas y funcionales de las estructuras anatómicas.

Las actividades asociadas a la activación del aprendizaje y reconfiguración del conocimiento parecen ocurrir de manera “cíclica” y reiterativa, en donde la interacción con el modelo, el reconocimiento de “choques” con el conocimiento previo y la reconfiguración de este conocimiento, se repiten sucesivamente durante la experiencia con los modelos.

P8. *“La experiencia ha sido muy provechosa, ya que permite transformar imágenes y dudas en representaciones mentales tridimensionales con mayor sentido espacial... se iba rellenando un poquito mientras podía interactuar con los modelos 3D, o sea, como que las proyecciones 2D iban ensamblándose en un corazón, pues completo. Este enfoque mejoró el entendimiento que tenía de la anatomía y su representación espacial, la comprensión progresa desde un andamiaje bidimensional hacia una representación tridimensional más completa”.*

Transferencia y aplicación clínica

Los participantes describieron también cómo esta experiencia tuvo efecto en su desempeño disciplinar posterior. Relacionaron el uso de modelos tridimensionales con una mejor interpretación de imágenes diagnósticas, una comprensión más clara de procedimientos clínicos y quirúrgicos y una mayor capacidad para integrar estructura y función en escenarios clínicos.

P4: *“facilita el entender las consecuencias hemodinámicas de la alteración anatómica, por ejemplo: es mucho más fácil entender dónde queda el defecto y cómo son las consecuencias a largo plazo... verlo en el modelo facilita que uno entienda el por qué toca corregirlo... entender la complicación hemodinámica... para permitir decisiones colaborativas... este tipo de tecnologías son necesarias para poder practicar una medicina vanguardista que resuelve problemas”.*

P5: *"La interpretación de imágenes cambia un montón... Entender desde las imágenes qué estoy viendo y qué debo buscar... tranquilidad también para tomar decisiones, para poder explicarle al paciente, para poder transmitir el conocimiento está enseñando, porque uno sabe que lo vio, de pronto ya lo tocó, lo entendió más... yo creo que no solo para el aprendizaje, sino indudablemente eso se ha convertido parte de las intervenciones seguras en las instituciones donde trabajo, pues se utiliza como parte del planeamiento de algunas intervenciones tanto quirúrgicas como percutáneas".*

Asimismo, percibieron cambios en sus estrategias de aprendizaje y en la forma de abordar futuros contenidos anatómicos, sugiriendo que la experiencia no solo transformó conocimientos específicos, sino también la manera de aproximarse al aprendizaje en contextos médicos.

P2. *"Abrir la mente a nuevas formas de aprendizaje, porque nosotros estamos educados de una forma muy tradicional, tanto en el colegio, en el pregrado y ahorita, el principal aprendizaje de personal, yo creo que es abrir la mente, aquí hay otras formas de aprender que pueden ser mucho mejores".*

Dimensiones transversales

A lo largo de todo el proceso, los factores afectivos y sociales se percibieron como elementos con influencia significativa sobre la experiencia de aprendizaje. Emociones como motivación, curiosidad, entusiasmo y confianza influyeron en la disposición de los participantes hacia la exploración del modelo y en la persistencia durante el proceso de comprensión.

P3: *"...todo ese tipo de herramientas bien orientadas hacen que uno se motive a seguir aprendiendo y a seguir estudiando ese tipo de herramientas, como los modelos 3D que ahora también la estamos usando (...) eso lo motiva a uno a algo nuevo, como cuando*

uno tiene un juguete nuevo que le gusta (...) creo que ese es un motivador también bien importante”.

De manera similar, la interacción con docentes y pares profesionales favoreció procesos de discusión, retroalimentación y construcción compartida del conocimiento, facilitando la exploración de estructuras anatómicas y la validación de interpretaciones durante la experiencia de aprendizaje.

P10. *“...obviamente el cómo, el feedback de poder hablar con alguien y decir como tú viste esto también, no estás pensando esto también o escuchar lo que el otro pensó que de pronto uno no pensó (...) le refuerza a uno y le queda más grabado”.*

P4: *“Los docentes facilitaron el tema (...)cuando yo no entendía cómo hacer lo del acercamiento”.*

Estos factores transversales modificaron la intensidad y profundidad con la que los participantes interactuaron con los modelos tridimensionales y reorganizaron su comprensión anatómica, así como el efecto que tuvo en su desempeño profesional posterior.

P10: *“... usualmente son pacientes que le generan a uno mucho estrés porque pues tienen alto riesgo de muchos tipos de complicaciones. Entonces uno entra un poco en alerta a los procedimientos, pero yo entraba feliz, o sea, alerta, pero muy feliz porque sentía que entendía muy bien, osea, no fue solo obviamente la clase de los modelos, pero sí ayudó a entender muchas cosas...”.*

Discusión

Los resultados del análisis de las percepciones de los participantes en estos talleres permitieron relacionar las categorías en un modelo teórico (Figura 4) en el cual los sucesos ocurren con temporalidades definidas, con algunas de ellas relacionadas de manera iterativa y otras influenciando significativamente todos los momentos de la experiencia del taller.

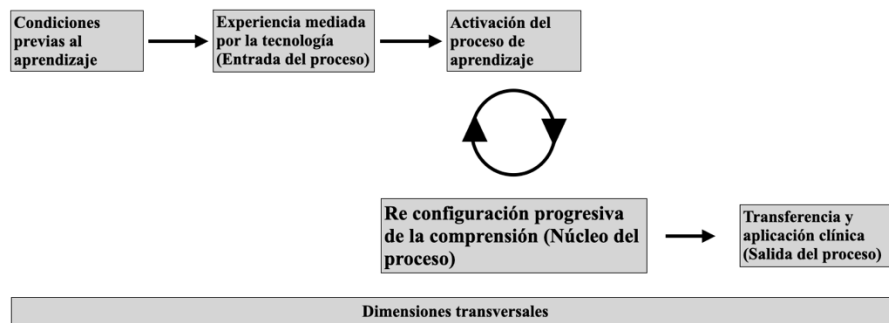


Figura 4. Modelo teórico. Relaciones temporales entre el segundo grupo de categorías. En este modelo las condiciones previas (que cada estudiante y la herramienta “traen” al taller) interactúan en la experiencia inicial, para luego entrar a un ciclo en el que la activación del proceso y la re configuración de la comprensión ocurren repetidamente durante la interacción. La aplicación posterior resultante parece ser un resultado de esta re configuración. Dimensiones transversales significativas intervienen durante todo el proceso.

Este modelo teórico surgió luego de considerar el segundo grupo de categorías emergentes, en un proceso iterativo continuo de diálogo entre el análisis de los datos y las teorías que se consideraban, simultáneamente al aprendizaje continuo que implicaba ese análisis (Figura 5). En este proceso, los procesos cognitivos, sociales y emocionales resultaban en sensibilizadores para la realización de las búsquedas que llevaron a reconocer estas teorías.



Figura 5. Generación del modelo teórico. El segundo grupo de categorías emergentes, al integrarse con la revisión de antecedentes teóricos, aportan para generar modelos teóricos sucesivos, en un proceso iterativo de diálogo que integra teorías asociadas y el análisis continuo de los datos.

El análisis permitió identificar que la reconfiguración de la comprensión anatómica mediante modelos tridimensionales ocurre como un proceso progresivo de reorganización conceptual y espacial en el que los participantes transforman sus representaciones anatómicas previas a través de la interacción activa con herramientas tridimensionales. Esta reconfiguración de la comprensión emergió como el “núcleo” del modelo teórico en donde se articula con las demás categorías que influyen en el proceso.

La reconfiguración del conocimiento anatómico

El presente estudio sugiere que el aprendizaje anatómico mediado por representaciones tridimensionales no constituye únicamente un incremento de información ni una mejora aislada en la comprensión espacial, sino un proceso progresivo de reorganización del conocimiento previo. A través de la interacción con I3D y RV, los hallazgos muestran que los participantes transformaron sus representaciones mentales de la anatomía mediante la manipulación, la exploración espacial y la visualización dinámica de las estructuras anatómicas.

Este fenómeno trascendió la simple memorización de contenidos anatómicos y se manifestó como una reorganización cognitiva de esquemas previos, caracterizada por una comprensión más integrada, espacial y transferible a escenarios clínicos, propio de perspectivas constructivistas del aprendizaje, en las que el conocimiento se construye activamente a partir de la experiencia y de la integración de nuevos significados con esquemas previos.

El modelo teórico

La reconfiguración ocurre mediante un proceso dinámico, no lineal, compuesto por etapas interrelacionadas que incluyen condiciones previas del aprendiz, familiarización con la tecnología, exploración activa de los modelos, contraste con conocimientos anteriores y reconstrucción progresiva de representaciones mentales. En este sentido, las tecnologías

tridimensionales no actuaron únicamente como herramientas visuales, sino como mediadores cognitivos que facilitaron la reorganización del conocimiento anatómico.

El aprendizaje multisensorial

La etapa de activación del aprendizaje descrita por los participantes tiene especial relevancia teórica. Este proceso implicaba una experiencia multisensorial que integraba información visual, espacial, motora y emocional demostrando que el aprendizaje no ocurre únicamente a través de procesos abstractos de procesamiento de información, sino mediante la interacción corporal y sensorial con el entorno (Macrine & Fugate, 2022). La posibilidad de “recorrer” estructuras anatómicas, manipularlas y orientarse espacialmente dentro de ellas parece favorecer formas más integradas de comprensión espacial y de mayor profundidad que aquellos generados por representaciones bidimensionales estáticas.

Las propuestas de la cognición corporizada sostienen que los procesos cognitivos se encuentran influenciados por la percepción, la acción y la experiencia corporal (Kiefer et al., 2022). Esto se relaciona con lo descrito por los participantes, quienes señalaron que la interacción con los modelos tridimensionales les permitía “dar forma” y “sentido” a conceptos previamente abstractos, integrar representaciones bidimensionales y construir comprensiones anatómicas más completas. En este sentido, la exploración activa de los modelos parece favorecer procesos de reorganización espacial y representación anatómica progresivamente más integrados.

Desde esta perspectiva del aprendizaje mediado por diferentes canales sensoriales, la teoría cognitiva del aprendizaje multimedia (Cognitive Theory of Multimedia Learning o CTML) (Mayer, 2021) apoya que el aprendizaje significativo parece ocurrir cuando los participantes logran seleccionar, organizar e integrar información presentada a través de

múltiples canales sensoriales. Los participantes describieron que las representaciones tridimensionales les permitían complementar y reorganizar información previamente adquirida mediante textos, atlas o imágenes bidimensionales, facilitando la construcción de modelos mentales anatómicos más coherentes. En particular, la combinación simultánea de estímulos visuales, espaciales y dinámicos pareció favorecer la articulación entre distintas dimensiones de la anatomía.

Los participantes también identificaron diferencias en las experiencias asociadas a las I3D y a la RV. Más que identificar una estrategia como superior a la otra, los participantes describieron cómo cada tecnología favorecía formas distintas de interacción con las estructuras anatómicas y contribuía de manera diferencial a la comprensión espacial. El uso de la RV ha mostrado que promueve una estructura cognitiva temprana para interiorizar secuencias anatómicas, reducir la carga cognitiva inicial y explorar relaciones espaciales en un entorno de bajo estrés (Rubio-López et al., 2025). Una vez que el alumno ha consolidado estos esquemas conceptuales interactuando con el recurso digital, la transición hacia el uso de modelos impresos en 3D introduce la complejidad háptica necesaria para la ejecución clínica y la coordinación espacial-motora fina (Wood et al., 2025). Mientras la realidad virtual parece facilitar la exploración dinámica y la visualización inmersiva de las relaciones anatómicas, permitiendo a los estudiantes navegar por configuraciones espaciales de forma que favoreciera la construcción temprana de representaciones anatómicas, los modelos impresos tridimensionales promueven la interacción táctil y cinestésica, permitiendo manipulación física de las estructuras y reforzamiento de la orientación espacial mediante la experiencia háptica.

Lo anterior, puede explicarse desde la teoría de la carga cognitiva (TCC) (Sweller, 1988), la cual propone una arquitectura para la memoria humana en donde una interacción favorecerá la

generación de conocimiento a largo plazo, si las condiciones de funcionamiento de la memoria sensorial (a corto plazo) son administradas adecuadamente para llevar la información a la memoria de trabajo (que organiza la información en segmentos) y posteriormente en información almacenada a largo plazo (que asocia estos segmentos a esquemas previos) (Young et al., 2014).

Experiencias previas muestran que la RV reduce la carga extrínseca al condensar dinámicamente información espacial compleja, evitando que el estudiante agote su memoria de trabajo intentando extrapolar mentalmente volúmenes a partir de imágenes en 2D (Wood et al., 2025). En contraste, la I3D opera mediante la estimulación predominantemente táctil y cinestésica y ofrece retroalimentación háptica, lo que resulta muy importante para el desarrollo de la percepción espacial. Esta interacción física con los modelos anatómicos impresos facilita el refuerzo cinestésico, un mecanismo clave en el aprendizaje sensoriomotor (Rubio-López et al., 2025; Wood et al., 2025).

La dimensión social y afectiva

De igual manera, los hallazgos evidencian que el aprendizaje mediado por tecnologías tridimensionales posee una importante dimensión social y afectiva. La interacción con docentes y pares, la retroalimentación compartida y las discusiones que surgieron durante la exploración de los modelos favorecieron procesos de validación, comparación e interpretación conjunta del conocimiento anatómico. Estos hallazgos resultan consistentes con la perspectiva sociocultural del aprendizaje propuesta por Vygotsky (Kaufman, 2018), en donde la construcción del conocimiento ocurre a través de interacciones socialmente mediadas y contextualizadas. La reconfiguración del aprendizaje no emergió exclusivamente de la tecnología en sí misma, sino de la interacción entre el estudiante, la herramienta y el contexto educativo en el que se desarrolló la experiencia.

Asimismo, emociones como la curiosidad, la motivación y el entusiasmo actuaron como moduladores relevantes del proceso de aprendizaje, influyendo en la profundidad de la exploración y en la persistencia frente a las dificultades iniciales asociadas al uso de las tecnologías tridimensionales, en consonancia con los planteamientos de la teoría Cognitivo-Afectiva del Aprendizaje con Medios (CATLM, Cognitive-Affective Theory of Learning with Media) (Moreno, 2005 y 2006), que aporta a los planteamientos de Mayer en el reconocimiento de cómo los factores afectivos y motivacionales influyen en el compromiso cognitivo y en la manera en que los participantes interactúan con entornos multimedia (Moreno & Mayer, 2007). Desde esta perspectiva, la experiencia tridimensional no solo facilitó procesos de representación anatómica, sino que también promovió formas activas de participación y compromiso emocional, que parecieron favorecer la reconfiguración de la comprensión anatómica.

La proyección al campo disciplinar

La transferencia clínica descrita por los participantes constituye otro elemento central de nuestros hallazgos. Los participantes relacionaron la reconfiguración de su comprensión anatómica con mejoras en la interpretación de imágenes diagnósticas, el entendimiento de alteraciones fisiopatológicas y la planificación de procedimientos clínicos y quirúrgicos. Este hallazgo sugiere que las representaciones tridimensionales favorecen no solo la comprensión estructural, sino también la integración funcional y clínica del conocimiento anatómico. En el contexto de las cardiopatías congénitas complejas, donde las relaciones espaciales y hemodinámicas son determinantes, la posibilidad de construir representaciones mentales más precisas parece tener implicaciones relevantes para la práctica clínica y la seguridad del paciente.

Limitaciones

Debido a que se incluyeron distintas especialidades médico-quirúrgicas con diferentes grados de interés en cardiopatías congénitas y diagnóstico por imagen, no se contó con participantes ajenos o con baja motivación hacia esta temática, lo cual habría permitido contrastar de manera más amplia la aparición de los fenómenos identificados. Sin embargo, esta característica también puede interpretarse como una fortaleza contextual, considerando que al buscar comprender cómo los participantes construyen el conocimiento anatómico (que resultó más en una reconfiguración) mediante I3D y RV, la motivación y conocimientos previos resultaron en factores significativos para el proceso, condiciones que podrían llevarse a otras disciplinas ya que no se consideraron de manera particular aspectos específicos para la anatomía cardiovascular o las cardiopatías congénitas.

Consecuencias de la perspectiva empleada.

El enfoque de la teoría fundamentada constructivista aportó importantes ventajas para esta investigación cualitativa. Principalmente, permite la generación de un modelo teórico a partir de los datos, reconoce que existen múltiples realidades subjetivas y que los datos se co-construyen a través de las experiencias compartidas entre el investigador y los participantes. Esto permitió explorar a profundidad los significados, suposiciones y el contexto de los individuos. Una fortaleza fundamental de este método es su naturaleza fuertemente inductiva: la teoría y los conceptos se construyeron directamente a partir de los datos (Figura 5). Es muy importante sin embargo resaltar la importancia de dejar que la información empírica guíe el análisis, evitando imponer marcos teóricos o conceptos preconcebidos que puedan sesgar o limitar los hallazgos emergentes.

Este método implica un proceso iterativo y en espiral de recolección y análisis simultáneo de datos mediante la comparación constante, así como de reflexividad, para documentar y

reconocer los propios sesgos, experiencias y posicionamiento, que influyen en la interpretación de los datos.

Finalmente, nuestras consideraciones teóricas generadas son de carácter interpretativo, sugerentes y siempre permanecen abiertas a crecimiento ante nuevas circunstancias específicas.

Aplicación en otros contextos

En este sentido, es posible plantear que los hallazgos podrían extrapolarse a otras especialidades médicas y a otros sistemas anatómicos, donde el uso de modelos 3D y realidad virtual podría generar procesos de aprendizaje similares, especialmente en la comprensión espacial, la integración anatomo-funcional y la construcción de modelos mentales complejos, considerando la importancia de los conocimientos previos a la interacción.

El modelo teórico emergente de “reconfiguración progresiva de la comprensión anatómica” (Figura 5) aporta una perspectiva conceptual útil para futuras investigaciones en educación médica. Este modelo ayuda a comprender el aprendizaje anatómico mediado por estas tecnologías como un fenómeno dinámico, multisensorial, social y cognitivamente transformador. Asimismo, ofrece elementos potencialmente relevantes para el diseño de estrategias pedagógicas más efectivas e integradas, orientadas no solo a mejorar resultados académicos, sino a facilitar procesos de comprensión profunda y transferencia clínica significativa. Esto sugiere que las representaciones tridimensionales facilitan la construcción de modelos mentales más robustos y funcionales, los cuales posteriormente pueden ser utilizados en contextos clínicos dinámicos y complejos.

Conclusiones

El aprendizaje mediado por estas técnicas no se limitó a una asimilación pasiva de conceptos ni a un incremento aislado de información visoespacial. Los participantes percibieron su experiencia como un proceso transformador definido como la *reconfiguración progresiva de la comprensión anatómica*. Esta “categoría central” permitió comprender cómo los participantes, movilizados por sus conocimientos previos, motivaciones y condiciones individuales, reorganizaron progresivamente sus esquemas anatómicos mediante la interacción iterativa tanto con tecnologías tridimensionales y con los actores del entorno de aprendizaje.

El modelo emergente sugiere que la inmersión espacial proporcionada por la realidad virtual (RV) y la experiencia háptica de los modelos impresos tridimensionales (I3D) actuaron como mediadores complementarios dentro del proceso de aprendizaje. Mientras la RV favoreció la exploración dinámica de relaciones anatómicas complejas, los I3D promovieron formas de interacción táctil y cinestésica que reforzaron la orientación espacial y la manipulación anatómica.

Así mismo, la construcción de significado se configuró como un proceso dinámico (no lineal) y progresivo, modulado transversalmente por aspectos afectivos y sociales. La curiosidad, el entusiasmo y la motivación favorecieron el compromiso de los participantes frente a la complejidad de la tarea, mientras que la discusión conjunta, la retroalimentación compartida y la validación colectiva de las percepciones anatómicas contribuyeron significativamente al proceso de comprensión.

Las implicaciones de este modelo teórico se hicieron evidentes en la manera en que los participantes relacionaron esta reconfiguración con contextos clínicos y disciplinarios más amplios. Los participantes describieron una mejor interpretación de las imágenes diagnósticas,

un entendimiento profundo de las alteraciones fisiopatológicas hemodinámicas y críticamente en la planificación segura de procedimientos quirúrgicos o percutáneos complejos. En este sentido, la interacción con tecnologías tridimensionales sugirió formas más integradas y contextualizadas de razonamiento anatómico para mejorar el desempeño en entornos clínicos reales.

En conclusión, el modelo emergente aporta una comprensión más amplia del papel de las representaciones tridimensionales en la educación médica contemporánea. Estas tecnologías son poderosos mediadores de procesos cognitivos, afectivos y sociales. Para el diseño curricular, estos hallazgos son valiosos ya que demostraron que es necesario superar la simple adopción tecnológica y avanzar hacia una implementación que armonice experiencias de aprendizaje que integren interacción activa, exploración espacial, mediación social y complementariedad de las técnicas (RV y I3D).

Este modelo teórico, fundamentado en los datos obtenidos, resulta novedoso frente a los antecedentes publicados referidos ya que incluye tanto los aspectos cognitivos como emocionales y sociales, así como el carácter dinámico de los procesos. Encuentra coincidencias significativas y surgidas del análisis de los datos, con modelos previos (Moreno & Mayer, 2007; Macrine & Fugate, 2022) a los que aporta al hacer explícita la interacción entre las condiciones de cada participante, los canales para la adquisición de la información y los mecanismos por los cuales se produce un aprendizaje significativo, el cual es reconocido desde la posibilidad de influir en el ejercicio profesional posterior.

El aprendizaje de la anatomía como un proceso reconfiguración progresiva, enmarcado en lo social, desafía a los docentes a diseñar entornos expansivos donde la tecnología y la interacción humana guíen la adquisición y reconfiguración de conocimiento y éste a su vez repercuta en la excelencia y seguridad del cuidado al paciente.

Bibliografía

Awori, J., Friedman, S. D., Howard, C., Kronmal, R., y Buddhé, S. (2023). Comparative effectiveness of virtual reality (VR) vs 3D printed models of congenital heart disease in resident and nurse practitioner educational experience. *3D Printing in Medicine*, 9, Artículo 2.

<https://doi.org/10.1186/s41205-022-00164-6>

Bergman, E. M., Van Der Vleuten, C. P. M., y Scherpbier, A. J. J. A. (2011). Why don't they know enough about anatomy? A narrative review. *Medical Teacher*, 33(5), 403–409.

<https://doi.org/10.3109/0142159X.2010.536276>

Caswell, F. R., Venkatesh, A., y Denison, A. R. (2015). Twelve tips for enhancing anatomy teaching and learning using radiology. *Medical Teacher*, 37(12), 1067–1071.

<https://doi.org/10.3109/0142159X.2015.1029896>

Charmaz, K. (2014). *Constructing grounded theory*. SAGE Publications Ltd.

Frambach, J. M., van der Vleuten, C. P. M., y Durning, S. J. (2013). AM last page: Quality criteria in qualitative and quantitative research. *Academic Medicine*, 88(4), 552.

<https://doi.org/10.1097/ACM.0b013e31828abf7f>

García-Huamantumba, E., García-Huamantumba, C. F., Velarde Dávila, L., Piñán García, J. H., Villavicencio Guardia, P. G., Pastrana Díaz, N. C., Ramírez Reyes, G., Pozo Pino, G., Martel Zevallos, D. J., y Beraun Quiñones, L. D. (2024). Aplicación de la realidad aumentada en el aprendizaje de estudiantes de ciencias de la salud. *Salud, Ciencia y Tecnología*, 3, 645.

<https://doi.org/10.56294/saludcyt2024645>

Heather, A., Chinnah, T., y Devaraj, V. (2019). The use of virtual and augmented reality in anatomy teaching. *MedEdPublish*, 8, Artículo 77.

<https://doi.org/10.15694/mep.2019.000077.1>

Kaufman, D. M. (2018). Teaching and learning in medical education: How theory can inform practice. En T. Swanwick (Ed.), *Understanding medical education* (pp. 36–68). Wiley-Blackwell.

Khan, R., Vernooij, J., Salvatori, D., y Hierck, B. P. (2025). Assessing cognitive load using EEG and eye-tracking in 3-D learning environments: A systematic review. *Multimodal Technologies and Interaction*, 9(9), Artículo 99. <https://doi.org/10.3390/mti9090099>

Kiefer, M., Hofmann, C., y Arndt, P. A. (2022). Embodied concepts: Basic mechanisms and their implications for learning and memory. En S. L. Macrine y J. M. B. Fugate (Eds.), *Movement matters: How embodied cognition informs teaching and learning* (pp. 25–38). The MIT Press.

Lincoln, Y. S., y Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Sage Publications.

Losco, C. D., Grant, W. D., Armson, A., Meyer, A. J., y Walker, B. F. (2017). Effective methods of teaching and learning in anatomy as a basic science: A BEME systematic review: BEME guide no. 44. *Medical Teacher*, 39(3), 234–243.
<https://doi.org/10.1080/0142159X.2016.1271944>

Louw, G., Eizenberg, N., y Carmichael, S. W. (2009). The place of anatomy in medical education: AMEE guide no. 41. *Medical Teacher*, 31(5), 373–386.
<https://doi.org/10.1080/01421590902825149>

Luursema, J. M., Vorstenbosch, M., y Kooloos, J. (2017). Stereopsis, visuospatial ability, and virtual reality in anatomy learning. *Anatomy Research International*, 2017, 1493135.
<https://doi.org/10.1155/2017/1493135>

Macrine, S. L., y Fugate, J. M. B. (2022). Embodied cognition and its educational significance. En S. L. Macrine y J. M. B. Fugate (Eds.), *Movement matters: How embodied cognition informs teaching and learning* (pp. 13–24). The MIT Press.

Mayer, R. E. (2021). *Multimedia learning* (3ra ed.). Cambridge University Press.

Mayer, R. E., y Estrella, G. (2014). Benefits of emotional design in multimedia instruction. *Learning and Instruction*, 33, 12–18.

McMenamin, P. G., McLachlan, J., Wilson, A., McBride, J. M., Pickering, J., Evans, D. J. R., y Winkelmann, A. (2018). Do we really need cadavers anymore to learn anatomy in undergraduate medicine? *Medical Teacher*, 40(10), 1020–1029.
<https://doi.org/10.1080/0142159X.2018.1485884>

Moreno, R. (2005). Instructional technology: Promise and pitfalls. En L. PytlikZillig, M. Bodvarsson, y R. Bruning (Eds.), *Technology-based education: Bringing researchers and practitioners together* (pp. 1–19). Information Age Publishing.

Moreno, R. (2006). Learning in high-tech and multimedia environments. *Current Directions in Psychological Science*, 15(2), 63–67.

Moreno, R., y Mayer, R. E. (2007). Interactive multimodal learning environments. *Educational Psychology Review*, 19, 309–326. <https://doi.org/10.1007/s10648-007-9047-4>

Olmos-Vega, F. M., Stalmeijer, R. E., Varpio, L., y Kahlke, R. (2023). A practical guide to reflexivity in qualitative research: AMEE guide no. 149. *Medical Teacher*, 45(3), 241–251.
<https://doi.org/10.1080/0142159X.2022.2057287>

Rubio-López, A., García-Carmona, R., Zarandíeta-Román, L., Rubio-Navas, A., González-Pinto, Á., y Cardinal-Fernández, P. (2025). Innovative approaches to

pericardiocentesis training: A comparative study of 3D-printed and virtual reality simulation models. *Advances in Simulation*, 10(1), Artículo 19. <https://doi.org/10.1186/s41077-025-00348-0>

Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12, 257–285.

Wood, K. N., McWatt, S., Risha, N., y Mensink, P. (2025). Analyzing the use of digital and physical anatomical teaching models in anatomy training. *Advances in Physiology Education*, 49, 572–581. <https://doi.org/10.1152/advan.00030.2025>

Young, J. Q., Van Merriënboer, J., Durning, S., y Ten Cate, O. (2014). Cognitive load theory: Implications for medical education: AMEE guide no. 86. *Medical Teacher*, 36(5), 371–384. <https://doi.org/10.3109/0142159X.2014.889290>

Anexos

Anexo 1. Guion inicial de la entrevista semiestructurada.

MAESTRÍA EN EDUCACIÓN PARA PROFESIONALES DE LA SALUD

Proyecto de investigación: **Cómo se aprende anatomía a partir de la interacción con técnicas de representación 3D**

Guión entrevista

(Charmaz, 2014; Creswell & Creswell, 2023)

Introducción

Gracias por participar en esta entrevista.

Somos estudiantes del programa de Maestría en Educación para Profesionales de la Salud y esta investigación constituye nuestro trabajo de grado para aspirar a este título.

Respecto a la información que le proporcionamos en la convocatoria y en el consentimiento informado, tiene alguna pregunta respecto a:

- Propósito del estudio:

El propósito de esta conversación es comprender cómo los estudiantes y profesionales en formación construyen su comprensión de la anatomía cuando aprenden con herramientas tridimensionales (impresión 3D, realidad virtual o aumentada).

- Estructura de la entrevista

La entrevista será confidencial, se grabará solo con su autorización, y podrá detenerse o abstenerse de responder cualquier pregunta. Su participación es completamente voluntaria.

- Manejo de la información

Toda la información será tratada bajo los principios de confidencialidad e integridad.

La transcripción será anonimizada y los datos de identificación no estarán disponibles durante el análisis.

Experiencia general con las representaciones tridimensionales

Pregunta 1: ¿Podrías contarme cómo ha sido para ti la experiencia de aprender anatomía utilizando representaciones tridimensionales (3D)?

Preguntas de apoyo (si es necesario):

- ¿Qué fue lo que más te llamó la atención?
- ¿Cómo describirías tus primeras impresiones o sensaciones al usarlas?
- ¿Qué aspectos te resultaron más útiles o desafiantes?

Procesos cognitivos, emocionales y sociales

Pregunta 2: ¿Cómo describirías lo que ocurre en tu mente y en tus emociones cuando aprendes con modelos tridimensionales y compartes esa experiencia con otros?

Preguntas de apoyo (si es necesario):

- ¿Qué estrategias o formas de pensar empleas mientras interactúas con los modelos?
- ¿Qué papel juega el intercambio con tus compañeros o docentes?
- ¿Cómo te sientes durante ese proceso de aprendizaje?

Fenómenos emergentes y construcción de conocimiento

Pregunta 3: Cuando miras hacia atrás en tu experiencia con las representaciones 3D, ¿qué descubrimientos o cambios en tu forma de entender la anatomía crees que surgieron?

Preguntas de apoyo (si es necesario):

- ¿Podrías contarme un momento en el que algo “hizo clic” o cambió tu comprensión?
- ¿Qué nuevas conexiones o significados aparecieron mientras trabajabas con los modelos?
- ¿Qué te sorprendió o no esperabas aprender de esta experiencia?

Comparación con otras estrategias de aprendizaje

Pregunta 4: ¿Cómo compararías tu aprendizaje con representaciones tridimensionales frente a otras formas de estudiar anatomía que hayas utilizado?

Preguntas de apoyo (si es necesario):

- ¿Qué crees que aporta diferente esta herramienta?
- ¿Hay algo que consideres que se aprende mejor o peor con las 3D?
- ¿Cómo se complementan con otras estrategias, como disección, atlas o software?

Sentido global y construcción teórica

Pregunta 5: Si tuvieras que explicar a otro estudiante cómo las representaciones 3D te ayudaron a comprender la anatomía, ¿qué le dirías?

Preguntas de apoyo (si es necesario):

- ¿Cómo resumirías el proceso que seguiste para entender mejor los conceptos?
- ¿Qué aprendizajes personales te dejó esta experiencia?
- ¿Qué papel crees que podrían tener estas herramientas en la enseñanza futura de la anatomía?

Cierre

Pregunta 6: ¿Hay algo más que quisieras agregar sobre tu experiencia con las representaciones 3D que no hayamos conversado?