

Universidad de Caldas
Facultad de Artes y Humanidades
Departamento de Diseño Visual
Maestría en Diseño y Creación Interactiva

**EXPERIENCIAS DE LA REALIDAD VIRTUAL HÁPTICA
EN LA SIMULACIÓN DE PROCEDIMIENTOS DE
CATETERISMO CARDIOLÓGICO**

Autor

Carlos Eduardo Martínez Niño

Director

Jesús Alejandro Guzmán Ramírez

Grupo de investigación

DICOVI

Línea de investigación

Línea Gestión y Transmisión del Conocimiento

Manizales

2021

TABLA DE CONTENIDOS

Resumen (Sinopsis técnica).....	6
Abstract.....	8
Introducción (sinopsis divulgativa)	9
CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA	13
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	13
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	17
1.3. OBJETIVOS.....	17
1.3.1. Objetivo general:	17
1.3.2. Objetivos específicos:	17
1.4. Justificación:.....	18
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO.....	22
2.1. Antecedentes de la investigación.....	22
2.1.1. Simulación Cardiológica:.....	23
2.1.2. Percepción en Simulación:	24
2.1.3. HCI Simulación:.....	25
2.1.4. Diseño de simuladores:	25
2.2. Bases teóricas.....	27
2.2.1. Enfermedad coronaria y cateterismo cardíaco	28
2.2.1. Historia de la Imagen biomédica:.....	30
2.2.2. La Imagen Computacional:.....	38
2.2.3. Simulación Clínica:	41
2.2.4. Realidades Integradas y Dispositivos de Visión Artificial:.....	46
2.2.5. Lo comunicacional de la Imagen Biomédica:.....	59
2.2.6. Ingeniería-Diseño y Simulación	76
CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.....	83
3.1. Muestra.....	91
3.2. Instrumentos y técnicas de recolección.....	93
3.3. Triangulación metodológica	93
3.4. Definición de Categorías:.....	95
CAPÍTULO 4: RESULTADOS.....	97

4.1. Consideraciones generales	97
4.1.1. Red Percepción en Simulación	100
4.1.2. Red Simulación Cardiológica.....	101
4.1.3. Red HCI Simulación.....	102
4.1.4. Red Diseño de Simuladores	103
4.1.5. Red Barreras de Acceso.....	104
4.2. La simulación virtual háptica vs la práctica real	105
4.3. Respuesta senso-perceptiva de la realidad virtual háptica en la simulación de la imagen biomédica cardiológica.....	109
4.4. Los conceptos de la realidad virtual aplicada a la imagen biomédica en ciencias de la salud.....	113
4.5. El manejo didáctico de los dispositivos de realidad virtual para el aprendizaje de cateterismo cardiológico.....	115
CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN.....	118
CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	124
6.1. CONCLUSIONES.....	124
6.2. RECOMENDACIONES	127
ANEXOS.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 1. Encuesta semiestructurada.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 2. Transcripciones entrevistas	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 3. Videos experiencias de realidad virtual háptica	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 5. Sábana de estado del arte	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 6. Libro de códigos.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 7. Certificación como ponente en el XIV Foro académico de arte y diseño latinoamericano en el XVI Festival de la imagen ISEA 2017.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 8. Memorias segundo pre-coloquio en Diseño y Creación. Página 88 -90.	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 9. Certificación ponente en Simposio Experiencias y Tendencias de la 4ª Revolución Industrial en el sector salud, Bogotá.....	¡Error! Marcador no definido.
Anexo 10. Resolución 66449 Superintendencia de Industria y Comercio	¡Error! Marcador no definido.
Bibliografía	128

TABLA DE FIGURAS

Figura 1 <i>Imagen de una ecografía intravascular</i>	28
Figura 2 <i>Ilustración del sistema Circulatorio</i>	31
Figura 3 <i>Primer cateterismo cardíaco</i>	33
Figura 4 <i>Angiotomografía cardiológica</i>	34
Figura 5 <i>Cronología de la imagen biomédica</i>	35
Figura 6 <i>Gammagrafía de perfusión miocárdica</i>	36
Figura 7 <i>Imagen de perfusión cardíaca con radioisótopos</i>	37
Figura 8 <i>Modelo Circumplejo de Russell</i>	44
Figura 9 <i>Interpretación ruta visión artificial</i>	47
Figura 10 <i>Patterson Operating Fluoroscopy</i>	50
Figura 11 <i>Reconstrucción Volumétrica de corazón por técnica tomografía multicorte</i>	51
Figura 12 <i>Radiografía de Tórax</i>	55
Figura 13 <i>Frame Video 2D Corazón Resonancia Magnética</i>	56
Figura 14 <i>Experiencia inmersiva con gafas Oculus Rift</i>	57
Figura 15 <i>El valle inquietante Masahiro Mori</i>	62
Figura 16 <i>Modelo del Virtuality Continuum</i>	64
Figura 17 <i>Clasificación de los niveles de inmersión del virtual continuum</i>	65
Figura 18 <i>Secuencia de procesos fisiológicos de Goldstein</i>	73
Figura 19 <i>Cuadro Jakobson –Pierce modificado</i>	75
Figura 20 <i>Experiencia de usuario con dispositivo Belisario</i>	85
Figura 21 <i>Circuito circulatorio y sistema modelo Belisario</i>	87
Figura 22 <i>Experiencia de Realidad virtual con gafas Oculus Rift</i>	89
Figura 23 <i>Triangulación metodológica</i>	94
Figura 24 <i>Elaboración de familias</i>	98
Figura 25 <i>Red semántica</i>	99
Figura 26 <i>Red Percepción en Simulación</i>	100
Figura 27 <i>Red Simulación Cardiológica</i>	101
Figura 28 <i>Red HCI Simulación</i>	102
Figura 29 <i>Red Diseño de Simuladores</i>	103
Figura 30 <i>Red Barreras de acceso</i>	104

TABLA DE TABLAS

<i>Tabla 1</i> Modelo de implementación de sistema Belisario.....	80
---	----

Resumen (Sinopsis técnica)

Para las ciencias médicas, la imagen se ha constituido en un elemento de comunicación poderoso que permite interpretar realidades del cuerpo humano a través de diferentes modalidades de captura-visualización convirtiéndose hoy en día en uno de los ejes centrales del diagnóstico de enfermedades, permeando el discurso del cuerpo humano y su relación con la enfermedad a través de la realidad virtual. En ese mismo contexto la simulación clínica surge como una herramienta complementaria de aprendizaje mediante el entrenamiento en un ambiente controlado que no comprometa la seguridad del paciente dadas las restricciones éticas y económicas en lo que respecta a la preparación del recurso humano en ciencias de la salud con seres vivos.

Desde las áreas del diseño el desarrollo de aplicaciones se hace cada vez más visible gracias a la masificación de software más robustos y eficaces que permiten la construcción de experiencias en diferentes niveles de interacción, esta democratización conlleva consigo en algunas ocasiones la separación del trabajo multidisciplinario lo que conlleva a que la toma de decisiones, que no son triviales dado su impacto final en el usuario.

El problema se plantea como una convergencia de elementos que desde lo tecnológico derivan en lo comunicacional para permitir el conocimiento necesario en las imágenes biomédicas cardiológicas. Partiendo del anterior escenario ¿Qué nivel de incidencia tienen la experiencia de aprendizaje de la imagen háptica, los dispositivos de realidades aumentada y realidad virtual desarrollados a través del diseño y la ingeniería para su apropiación en áreas como el cateterismo cardiológico en escenarios de simulación clínica?

La presente investigación tiene como objetivo principal evaluar la experiencia de la realidad virtual háptica en la simulación de procedimientos de intervencionismo cardiológico.

Para dar respuesta al objetivo de la presente investigación el enfoque abordado es de carácter cualitativo interpretativo de corte fenomenológico ya que se desarrolló a partir del análisis y observación de los procesos actitudinales, pertinencia y dinámicas de trabajo asociados al colectivo de participantes que se incluyeron para la experiencia háptica al realizar la práctica simulada de un cateterismo cardiológico y al grupo de usuarios que participaron de la experiencia de realidades mixtas. Dentro de los resultados se resalta que la combinación de experiencias de realidad virtual háptica es observada como un aspecto relevante que permite la alta usabilidad de los dispositivos.

En lo que respecta al grado de inmersión en las diferentes experiencias resulta evidente que la realidad virtual se encuentra en primer orden, esto se debe a que los HDM y la interfaz de la aplicación generan el ambiente necesario de inmersión requerida, esto redundando en los beneficios propios de la capacidad de aprendizaje mediado por tecnologías y experiencias guiadas en laboratorio.

Una de las conclusiones que se evidencian en la investigación es que la simulación clínica utilizando experiencias de realidad virtual háptica como herramienta didáctica es una poderosa herramienta tecnológica que debe apropiarse de los escenarios académicos para el logro de las competencias académicas y profesionales en personal que realice procedimientos de intervencionismo cardiológico.

Palabras Clave: Realidades mixtas, experiencia háptica, Realidad Virtual, Cateterismo Cardiológico.

Abstract

In medicine, images have become a powerful communication element that allow to interpret the reality of the human body through different methods of image capturing-visualization becoming nowadays one of the centerpieces for disease diagnosis, rectifying the lecture about the human body and its relationship with disease through virtual reality.

In the same context, clinical simulation emerges as a complementary Learning tool through training in a controlled environment that does not compromise Patient safety, given the ethical and economic restrictions regarding the measures of human resources in health sciences with living beings.

As for the field of design, the development of applications has become every time more visible, thanks to the massive heavier and effective software that allow the construction of different experiences on different levels of interaction, sometimes this easy access results in the separation from multidisciplinary work which entails making choices which are not common given its final impact in the user.

The problem is established as a coadunation of elements which from a technological point of view are derived from communication, to allow the proper knowledge needed in biomedical cardiology images. Based on this scenario, ¿ What level of incidence do the haptic image learning experience, augmented reality and virtual reality devices developed through design and engineering have for areas such as cardiac catheterization in clinical simulation scenarios?

This investigation's main interest is to evaluate the experience of haptic virtual reality in simulated scenarios of cardiac catheterization procedures. To achieve this research's goal, the approach is of a qualitative interpretative character of a phenomenological nature, as it was developed from the analysis and observation of attitudinal processes, relevance and work

dynamics associated with the group of participants that were included for the haptic experience when performing the simulated practice of a cardiology catheterization and to the group of users who participated in the experience of mixed realities. Based on the results, it is important to highlight that the combination of haptic virtual reality experiences is observed as a relevant aspect that encourages the usability of the devices.

Regarding the degree of immersion in the different experiences, it is evident that virtual reality is in the first place, this is because the HDM and the application interface generate the necessary environment of required immersion, this redounds in the benefits of the capacity for learning through technologies and guided experiences in the laboratory.

One of the conclusions that are evidenced in the research is that clinical simulation using haptic virtual reality experiences, as a didactic tool, is a powerful technological tool that must be appropriated on academic settings to achieve the academic and professional competencies in personnel who perform cardiac interventional procedures.

Keywords: Mixed Reality, Haptic experience, Virtual Reality, Cardiac Catheterization

Introducción (sinopsis divulgativa)

La presente investigación evaluó la experiencia virtual háptica en la simulación de procedimientos de cateterismo cardiológico indagando las respuestas senso-perceptivas presentadas en las diferentes experiencias presentadas para tal fin.

Desde hace poco menos de un siglo, el intervencionismo radiológico ha escalado peldaños en las ciencias médicas como procedimiento diagnóstico y terapéutico hasta ser hoy en

día el método de elección para el abordaje de patologías relacionadas con el sistema cardiovascular, permitiendo disminución de la morbimortalidad de los pacientes respecto a cirugías de mayor abordaje quirúrgico (Jiménez, 2016).

Generando proyectos de desarrollo que vinculen la ingeniería, el diseño y las ciencias de la salud se pueden plantear dispositivos de inmersión que integren dichos saberes a través de prototipos que involucren tecnologías de producción interactiva como la realidad mixta, los sistemas neumáticos e hidráulicos, la electrónica, robótica y la programación al servicio de la comunidad académica con el objetivo de tener experiencias de intervención cada vez más cercanas a las problemáticas presentadas en el ejercer profesional.

Metodológicamente el proyecto se concibe con un enfoque cualitativo interpretativo de corte fenomenológico ya que se desarrolló a partir del análisis y observación de los procesos actitudinales, pertinencia y dinámicas de trabajo asociados al colectivo de participantes que se incluyeron para la experiencia háptica al realizar la práctica simulada de un cateterismo cardiológico y al grupo de usuarios que participaron de la experiencia de realidades mixtas.

En el primer escenario, la experiencia háptica se genera de la realización de la práctica simulada de un procedimiento de cateterismo cardiológico por medio de un sistema mecatrónico. Dicha evaluación se realizó a través de un brazo que contiene las arterias de acceso al procedimiento a expensas de sensores que permiten medir el grado de presión ejercido en puntos estratégicos del recorrido arterial logrando emular una placa ateromatosa y así evaluar el grado de sensibilidad háptica desarrollada para realizar correctamente el procedimiento vascular (Colombia Patente nº NC2017/0007371, 2019) , y el segundo escenario es la experiencia de las realidades mixtas, para ello se trabajaron dos tipos de tecnología inmersivas permitiendo a los participantes explorar aplicaciones orientadas a la enseñanza de la anatomía cardiológica y de la patología que afecta a este órgano, logrando comprender como este tipo de herramientas aportan

desde la didáctica a comprender mejor el tipo de procedimientos terapéuticos que se llevan cabo para resolver situaciones potencialmente mortales para los pacientes.

El interés de este proyecto no es cuantificar si no que, a través de los métodos en los que se privilegia la subjetividad y la narrativa de las experiencias, se permita identificar los atributos no verbalizados por el sujeto a través de una entrevista a profundidad.

El proyecto logró emular una práctica simulada de un procedimiento de intervencionismo cardiológico empleando la realidad virtual háptica. Las emociones senso-perceptivas permitieron establecer el grado de afinidad logrado a través de este tipo de experiencias. Las experiencias al estar mediadas por respuestas emocionales mejoran la curva de aprendizaje, lo cual se respalda en el modelo circunplejo de Russell quien postula que al generarse zonas activación y placer durante la experiencia se logró una experiencia de aprendizaje significativo.

CAPÍTULO 1. EL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La imagen como instrumento de comunicación se presenta desde el momento mismo de la conformación de sociedades primitivas. Generaciones de humanos han plasmado de forma analógica (analogía en el sentido estricto de la interpretación de la realidad) sus realidades observables a través de distintas técnicas que van desde lo rupestre a lo digital. Para las ciencias médicas, la imagen se ha constituido en un elemento de comunicación poderoso que permite interpretar realidades del cuerpo humano a través de diferentes modalidades de captura-visualización convirtiéndose hoy en día en uno de los ejes centrales del diagnóstico de enfermedades, permeando el discurso del cuerpo humano y su relación con la enfermedad a través de la realidad virtual.

Dentro de las múltiples patologías existentes, la enfermedad coronaria es una de las principales enfermedades que aqueja a la población mundial calculándose una tasa de mortalidad del 5.8% por cada 100.000 habitantes (Machado, 2020, pág. 407). Para su diagnóstico se hace necesarias múltiples pruebas de diagnóstico de laboratorio como las enzimas cardíacas que miden los niveles de proteínas vinculadas a la lesión del músculo cardíaco. De igual manera se hace necesarios exámenes imagenológicos que van desde una radiografía de tórax pasando por la tomografía multicorte y el PetCt que permitan evidenciar la muerte celular del músculo cardíaco y su posible reparación a través del cateterismo cardiológico.

Desde hace poco menos de un siglo, el intervencionismo radiológico ha escalado peldaños en las ciencias médicas como procedimiento diagnóstico y terapéutico hasta ser hoy en día el método de elección para el abordaje de patologías relacionadas con el sistema

cardiovascular, permitiendo disminución de la morbimortalidad de los pacientes respecto a cirugías de mayor abordaje quirúrgico (Vicente Jimenez, 2016).

Sin embargo, la exposición excesiva a radiaciones ionizantes para estos procedimientos aumenta no solamente el riesgo ocupacional en el equipo multidisciplinario que son descritas por la Comisión Internacional de Protección Radiológica, sino que derivan en posibles efectos secundarios a los pacientes que se consideran estocásticos (a largo plazo) y determinísticos (inmediatos) (ICRP, 2007, pág. 45)

El incremento de la cirugía mínimamente invasiva, así como las restricciones éticas y económicas en lo que respecta al abordaje quirúrgico de pacientes reales, demanda por parte de los estudiantes de programas de ciencias de la salud una permanente capacitación que, tradicionalmente se adquiere bajo la supervisión de un profesional disciplinar entrenado. Esta práctica de enseñanza es costosa, con una curva de aprendizaje lenta y de efectividad incierta impulsando la tendencia a utilizar dispositivos de simulación clínica para complementar el desarrollo de competencias laborales (López Sánchez & al, 2013, pág. 29).

La simulación clínica debe ser concebida como una técnica que permite amplificar experiencias interactivas en entornos seguros permitiendo el entrenamiento en situaciones particulares que suelen presentarse en el ambiente hospitalario. Esta técnica se ha ido convirtiendo cada vez más en el eje central del entrenamiento de equipos biomédicos, garantizando el desarrollo de competencias profesionales que se traduzcan en toma de decisiones críticas, resolución de problemas complejos, trabajo en equipo y creatividad entre otras, protegiendo al paciente de riesgos antrópicos como parte de una mala praxis.

La Simulación Clínica como herramienta de aprendizaje permite la mejora continua de las habilidades de los profesionales de la salud toda vez que ratifica el desarrollo de destrezas técnicas, comunicacionales y actitudinales, logrando disminuir el margen de error en los

procedimientos quirúrgicos. La práctica continua de la simulación está relacionada con la seguridad en el paciente que se define como la ausencia, prevención y mejora de resultados adversos (Ruiz Coz, 2012, pág. 6).

La ventaja principal de la simulación Clínica se presenta durante el proceso de enseñanza-aprendizaje, que además de mejorar las habilidades cognitivas ya mencionadas, permite el desarrollo de habilidades psicomotoras (Salas Perea & Ardanza Zulueta, 1995) toda vez que permite la estandarización de los procedimientos a efectuar ante determinadas situaciones y de igual forma en la evaluación.

A pesar de las ventajas de la simulación clínica en la adquisición de habilidades y destrezas diagnósticas y terapéuticas, su uso no se ha masificado sobre todo en equipos de última generación donde hay un nivel de interacción alto. Lo anterior obedece al alto costo de los equipos, la dificultad de implementación de sistemas de realidades mixtas en los espacios de dotación y la escasa posibilidad de actualizar los simuladores médicos comerciales. Estas dificultades explican por qué en Colombia sigue existiendo una brecha muy marcada en los temas de la simulación clínica de última generación (García & A, 2016, pág. 238).

Es importante mencionar que otra de las dificultades expresas es la apropiación cognitiva del estudiante en los procesos de simulación clínica, pues sigue siendo paradigmático la divergencia que se presenta entre la capacidad de abordar contenidos digitales y la forma de acercamiento a ellos en el plano académico, siendo imprecisos en la denominación de nativos digitales, toda vez que no todos los jóvenes pueden considerarse así ya que esto depende de las experiencias a nivel de tecnologías de la comunicación y el impacto que estas hayan tenido en su formación personal y profesional.

En ese mismo contexto, es prioritaria la inclusión de propuestas metodológicas innovadoras para los estudiantes de las IES frente a la adquisición de competencias a través de

estas realidades mixtas que permitan evaluar y corregir en el tiempo las pretensiones de formación de profesionales exitosos y acorde a las tendencias internacionales.

Si bien la simulación clínica es un apoyo tecnológico invaluable como instrumento de aprendizaje en lo que respecta a imágenes biomédicas, es precisamente el punto de quiebre en lo referente a la relación agentiva del contacto humano como soporte vital en la relación médico-paciente, ya que existe una disrupción importante en la forma de comunicación tal y como se conoce a través de los modelos comunicativos (Aguado, 2004, pág. 63).

Desde las áreas del diseño el desarrollo de aplicaciones se hace cada vez más visible gracias a la masificación de software más robustos y eficaces que permiten la construcción de experiencias en diferentes niveles de interacción, esta democratización conlleva consigo en algunas ocasiones la separación del trabajo multidisciplinario lo que conlleva a que la toma de decisiones que no son triviales dado su impacto final en el usuario.

Por consiguiente, se hace necesario plantear reglas de abordaje que permitan a las partes involucradas tener la cohesión necesaria para los procesos de diseño de aplicativos en realidades mixtas que cumplan las expectativas desde las necesidades educativas generadas a través de equipos multidisciplinarios.

El problema a tratar en la presente investigación, se enmarca en la línea de investigación gestión y trasmisión del conocimiento en la temática cognición y emoción humana perteneciente al grupo de investigaciones DICOVI y se plantea como una convergencia de elementos que desde lo tecnológico derivan en lo comunicacional para permitir el conocimiento necesario de protocolos de cateterismo cardíaco desde las realidades mixtas.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.

Partiendo del anterior escenario ¿Qué nivel de incidencia tienen la experiencia de aprendizaje de la imagen háptica, los dispositivos de realidades aumentada y realidad virtual desarrollados a través del diseño y la ingeniería para su apropiación en áreas como el cateterismo cardiológico en escenarios de simulación clínica?

1.3. OBJETIVOS.

Para el desarrollo de la tesis se han establecido los objetivos que permitirán obtener las conclusiones derivadas del trabajo realizado, para ello se relacionan a continuación:

1.3.1. Objetivo general:

Evaluar la experiencia de la realidad virtual háptica en la simulación de procedimientos de intervencionismo cardiológico.

1.3.2. Objetivos específicos:

- Establecer las experiencias frente a la realización de procedimientos de intervencionismo cardiológico a través de un simulador virtual háptico respecto a la práctica real.
- Indagar por la respuesta senso-perceptiva de la población objeto de estudio que intervienen en el aprendizaje a través de la realidad virtual háptica en la simulación de la imagen biomédica cardiológica.
- Identificar los conceptos de la realidad virtual aplicadas a la imagen biomédica en ciencias de la salud

- Evaluar el manejo didáctico de los dispositivos de realidad virtual para el aprendizaje de cateterismo cardiológico

1.4. Justificación:

Los ambientes de enseñanza en prácticas académicas que requieren de procesos de simulación clínica en muchas ocasiones presentan sistemas o dispositivos que requieren de actualizaciones constantes y además implican necesariamente niveles de inmersión que busquen acercar al estudiante a las condiciones de aplicación en ámbitos profesionales.

Estos espacios de laboratorio bajo muchas circunstancias requieren de inversiones en infraestructura e instrumentalización que no permiten siempre su renovación y que se ven afectados en las dinámicas de las exigencias constantes del entorno de aplicación que solicitan a las instituciones estar a la par con las necesidades de las comunidades o ambientes de impacto final de los graduados.

Considerar la imagenología biomédica como parte del diseño moderno, no equidista de las mismas premisas que lo representan, se ha considerado la forma, en tanto lo objetual se ha convertido en una experiencia para el paciente, lo racional asumiendo las necesidades actuales de diagnóstico y tratamiento que exige la comunidad médica y finalmente lo moral, el debate entre la necesidad de usabilidad de determinadas tecnologías y la implicación de coste económico presente en la realización del procedimiento.

En ese mismo sentido, las implicaciones tecnológicas en la mediación diagnóstica biomédica, generan espacios con cambios importantes en la concepción de las teorías contemporáneas de la comunicación, obligando a los emigrantes digitales e incluso a los nativos

digitales a replantear su interacción desde la postmodernidad y su impacto será el resultado en la forma en la que se interpretan las imágenes.

La complejidad de entender cómo la transdisciplinariedad se ha asentado en la categoría imagenológica que presenta derivaciones que parten de la subjetividad propia del contexto donde se analiza, permite la deriva cognitiva que se entronca en las múltiples metodologías de búsqueda del conocimiento, ejemplo de ello la simulación clínica mediada a través de la realidad virtual.

Es por lo anterior que se debe reconsiderar que la perspectiva a través del proceso del diseño como fenómeno, es un espacio que no se ha analizado con la suficiencia necesaria toda vez que el enfoque no ha unificado los factores que se asocian desde las mismas categorías.

La función del diseño si bien es muy fuerte desde el análisis presente, se le observa aún muy novel en el entendido de las fuerzas cognitivas que se ciernen en pos de las propuestas de avance tecnológico que tiene su base en la praxis en escenarios de simulación clínica que es objeto de estudio de la presente investigación, siendo necesario ahondar en el fenómeno de cómo las experiencias de realidad virtual permiten entender el impacto que tienen en el aprendizaje.

Generando proyectos de desarrollo que vinculen la ingeniería, el diseño y las ciencias de la salud se pueden plantear dispositivos de inmersión que integren dichos saberes a través de prototipos que involucren tecnologías de producción interactiva como la realidad virtual, los sistemas neumáticos e hidráulicos, la electrónica, robótica y la programación al servicio de la comunidad académica con el objetivo de tener experiencias de intervención cada vez más cercanas a las problemáticas presentadas en el ejercer profesional.

Las realidades mixtas se han abierto campo en las áreas de la simulación clínica, agregando un alto valor de aprendizaje al generar contenidos multimediales con casuísticas en

diversas patologías específicas que permiten la adquisición de competencias de ¹manera segura tanto para el paciente como para el equipo de trabajo multidisciplinario.

Sin embargo, se hace necesario que la problemática asociada al objeto de estudio de la simulación clínica y por ende al *debriefing* (Maestre & Rudolph, 2015, pág. 282) desencadenante de la experiencia, sea abordada a través del diseño de modo tal que se logre el cumplimiento de las expectativas desde lo cualitativo y por ende la práctica sea lo más cercana posible a la realidad proyectada.

El presente trabajo se considera como una investigación a través del diseño, toda vez que se ha realizado en paralelo a una investigación correspondiente a la construcción de un prototipo de simulador de realidad virtual háptica de cateterismo cardiológico, que sirve de instrumento de análisis y permite de igual forma la evaluación de las actitudes del usuario inmerso en los escenarios de realidad virtual (objetivo general de la investigación), así pues la construcción dialéctica de lo teórico y lo práctico son el sustrato del enfoque cualitativo de la investigación.

Es por ello que la investigación a través del diseño como eje central de la propuesta implica que la ingeniería, el diseño y la imagenología apoyen de manera directa los objetivos anteriormente descritos.

El Proyecto se limitará a testear un grupo de profesionales de ciencias de la salud y áreas del diseño con niveles de conocimiento bajo, intermedio y avanzado en el intervencionismo cardiológico que pertenezcan a Instituciones de Educación Superior reconocidas por el Ministerio de Educación Nacional. Aunado a esto, la presente investigación pretende resultados que permitan la contribución de la investigación a través del diseño en áreas de las ciencias

¹ El *debriefing* es un proceso de reflexión consciente e intencionada que permite construir aprendizajes profundos; realizarlo de manera eficiente no es tarea fácil, se presentan dificultades en su esquematización mental, en la verbalización y en la práctica (Díaz & Cimadevilla, 2019, pág. 95)

biomédicas, de igual forma propiciar el puente discursivo de la transdisciplinariedad entre las áreas del conocimiento de modo tal que se reconozcan los elementos comunes que permiten la interacción en un eje común que es la imagen como elemento comunicacional

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación.

Gracias al cambio del paradigma en la educación superior a expensas del uso de tecnologías y por ende a la renovación constante de las metodologías de aprendizaje, la carrera por la formación de profesionales cada vez más capacitados y con altos estándares de calidad, enmarcada en las necesidades reales de la comunidad dadas las normativas y las realidades socio-económicas de Colombia, impulsan a las instituciones de educación superior hacia la búsqueda disruptiva de los modelos pedagógicos y de didácticas que permeen la integralidad no solo el área cognitiva sino también el aprendizaje emocional.

Una de esas prácticas disruptivas es la simulación clínica, que como herramienta didáctica se ha venido incorporando a los planes curriculares en las facultades de ciencias de la salud abarcando un eje significativo en la búsqueda de experiencias que potencien el aprendizaje significativo y propiciando los escenarios para el desarrollo de competencias de manera tal que los pilares básicos del saber: aprender a conocer, aprender a hacer, aprender a vivir juntos y aprender a ser (Delors, 1994), se han visto cada vez más beneficiados a expensas de estas tecnologías.

Para realizar el estado del arte de la presente investigación se efectuó el análisis de las variables dependientes e independientes, las cuales determinaron el norte de la revisión sistemática en las bases de datos documentales que dan cuenta del ejercicio investigativo a nivel internacional, nacional y local.

En tal sentido se contemplan tres ejes de abordaje del estado del arte: En primer orden la simulación cardiológica en tanto es el instrumento central de la investigación. En segundo orden la percepción en simulación, toda vez que se aborda al analizar el impacto emocional de la simulación clínica en estudiantes de ciencias de la salud y finalmente la interacción humano computadora (HCI) en simulación que permite determinar qué tipos de investigaciones se han involucrado desde la ingeniería, el diseño y las ciencias de la salud para la realización de dispositivos hápticos que a su vez empleen la realidad virtual como entorno de aplicación.

2.1.1. Simulación Cardiológica:

Dentro de los hallazgos más importantes en esta categoría se encuentran metodologías exploratorias a través de talleres cuyo objetivo fue el análisis de la satisfacción en cuanto al aprendizaje simulado. Otro de los proyectos relevantes que coinciden con los factores de inclusión presenta investigación de estudio de apoyado en teoría fundamentada dirigido a docentes, especialistas, residentes y personal administrativo, este proyecto permitió determinar los imaginarios de los participantes sobre el proceso enseñanza/aprendizaje/evaluación del cateterismo venoso central diseñado para médicos residentes.

Frente a equipos diseñados específicamente para la simulación cardiológica, aparece en la base de datos el simulador Harvey que es un maniquí de tamaño real capaz de reproducir los hallazgos más comunes en un paciente con patología cardiológica, dentro de las conclusiones se resalta que el uso de los simuladores empleados durante el proceso de formación demuestran ser un método “reproducibile, seguro y confiable, permitiendo a los alumnos familiarizarse con los

eventos cardiológicos”, si bien los simuladores no podrá sustituir a los pacientes, su uso demuestra ser útil en la adquisición de destrezas indispensables en la práctica clínica.

2.1.2. Percepción en Simulación:

En lo que respecta a la variable percepción en simulación no se encuentran investigaciones directas en proyectos asociados al cateterismo cardiológico, en ese sentido se amplió la búsqueda de modo tal que los hallazgos incluyeran los conceptos emocionales de los estudiantes de ciencias de la salud enmarcadas en la simulación clínica. Para tal efecto se analiza que en esta categoría las investigaciones son de carácter cuantitativo de tipo descriptiva y/o cualitativo de tipo descriptivo, realizadas a través de encuestas estructuradas y semiestructuradas.

Al respecto, los hallazgos significativos apuntan a concluir que el grado de satisfacción de los participantes es un indicador significativo para medir la calidad en la enseñanza de las personas implicadas en el proceso educativo se considera uno de los indicadores más significativos para medir la calidad de la enseñanza (Erazo, Cárdenas, & Gonzales, 2019)

Otras investigaciones, tuvieron como objetivo describir la percepción de los estudiantes frente a la actividad, aspectos a destacar, sugerencias frente a la actividad, mayor aporte de aprendizaje recibido y los aspectos sobre habilidades comunicativas, habilidades de toma de decisión, habilidades instrumentales, trabajo en equipo y trato humano (Cárdenas, Forero, & Parra, 2019).

En investigaciones de tipo longitudinal descriptivo, existieron discrepancias entre la confianza y las aptitudes de los estudiantes en el entendido de la necesidad de atención

personalizada referente a resolución de dudas y aprendizaje reflexivo. (Olvera Cortés, 2020, pág. 34)

2.1.3. HCI Simulación:

Hay un marcado interés por parte de las instituciones de educación superior (IES) por el uso de software y aplicaciones donde intervenga la inteligencia artificial (IA), Customer Experience, usabilidad y Accesibilidad (Riascos, Loaiza, & Estrada, 2018) que permitan la formación de ingenieros con las competencias que aporten al sector productivo soluciones en lo que compete a la implementación de estas tecnologías.

Lo anteriormente expuesto se evidencia en investigaciones de tipo exploratorio con enfoque cuantitativo donde se indagó qué Instituciones de Educación Superior (IES) en Colombia presentaban asignaturas orientadoras en las temáticas expuestas y se observa que del universo de 497 se encontró que de las 137 solo 22 ofrecen 26 cursos relacionados con la IHC; 20 de ellas no ofrecen cursos de esa naturaleza y en los 95 restantes no fue posible identificar si ofrecen o no cursos relacionados.

Es por ello que se pueden evidenciar investigaciones de desarrollo tecnológico de plataforma. El software Harvis es un ejemplo de ello, se concibe como una plataforma de software con una GUI (*Graphic user interface*) flexible para realizar simulaciones vasculares y una interfaz con capacidad de realidad virtual para la modificación de la geometría y la visualización del flujo (Shi, Ames, & Randles, 2020) .

2.1.4. Diseño de simuladores:

En esta categoría se evidencia una serie de trabajos de investigación que se soportan en las ingenierías y las ciencias informáticas para el desarrollo de simuladores con enfoque cardiológico, ejemplo de ello es el simulador de señales eléctricas del corazón que se soporta con microcontroladores (Yapur, Argüello, & Márquez, 2010) y (Guzmán & Martín, 2017) cuya función es emular cardiopatías para su evaluación. Otro tipo de desarrollos con tecnologías mecatrónicas se decantan por la simulación del ventrículo izquierdo para su análisis de estudios de perfusión miocárdica con radio isótopos por medicina nuclear, este simulador tipo phantoma permite evaluar la fracción de eyección del ventrículo izquierdo que define la viabilidad del músculo cardiaco empleando cámaras elásticas vulcanizadas y arduinos que generan una señal de electrocardiograma y son procesadas por un equipo de centelleo. (Calla, Vargas, Sanabria, Yapura, & Aramayo, 2019). Dentro de los hallazgos se presenta una investigación que hace uso de la impresión 3D para la planificación de cirugías cardiológicas, si bien en las conclusiones del artículo se detallan las limitantes de la precisión anatómica, la segmentación (delimitación de tejidos) y el coste final de la impresión. este tipo de desarrollos son prometedores a expensas del uso de tecnologías cada vez más capaces de afrontar este tipo de retos (Valverde, 2017)

Casas comerciales como Laerdal quien lidera el mercado de la simulación clínica, cuenta con simuladores endovasculares como los VIST light, VIST-G5, VIST-LAB y finalmente el SimMan vascular que se usa con rayos X para tener una experiencia inmersiva de alto nivel

Como se evidencia, los estados del arte en lo referente a las áreas de la simulación cardiológica se abordan desde diferentes ópticas a expensas de las disciplinas que abordan el problema, en ese sentido se logra percibir que existe un creciente número de investigaciones en las áreas de la simulación clínica-HCI-percepción, sin embargo no se evidencia una integralidad de estas variables en proyectos de investigación lo que convierte a este proyecto de investigación en una oportunidad valiosa para entender como la multidisciplinariedad y la transdisciplinariedad

y juegan un rol importante y determinado en el éxito de desarrollos tecnológicos a través del diseño como líder funcional que traza puentes con las diferentes disciplinas del conocimiento.

2.2. Bases teóricas

Para el desarrollo del marco teórico se plantea la necesidad de abordar ejes temáticos que permitan al lector entender cuáles son las inquietudes que han llevado a la pregunta del problema.

La presente investigación se cimenta bajo cuatro grandes ejes temáticos, el primero de ellos presenta los conceptos básicos de la enfermedad coronaria y el procedimiento médico que se debe realizar para su tratamiento, el segundo eje es la imagen biomédica y como esta ha tenido un avance significativo a expensas del propio desarrollo computacional que deriva en la imagen digital en consecuencia, el tercero eje temático se decanta en la incursión de la simulación clínica como herramienta didáctica derivada de las necesidades de entornos controlados y finalmente como cuarto eje temático la apropiación de las realidades mixtas que se involucran en la simulación clínica como herramienta de mediación en experiencias de aprendizaje de la imagen biomédica.

Estos elementos suponen un análisis relacional del fenómeno comunicativo a expensas de la interacción por parte de los actores de la investigación con tecnologías inmersivas que redundan en la mejora continua de las habilidades y destrezas de los profesionales de las ciencias de la salud pero que son concebidas a partir de la integración de saberes como el diseño que permite a su vez el desarrollo cada vez más precisos de escenarios de retroalimentación transdisciplinar.

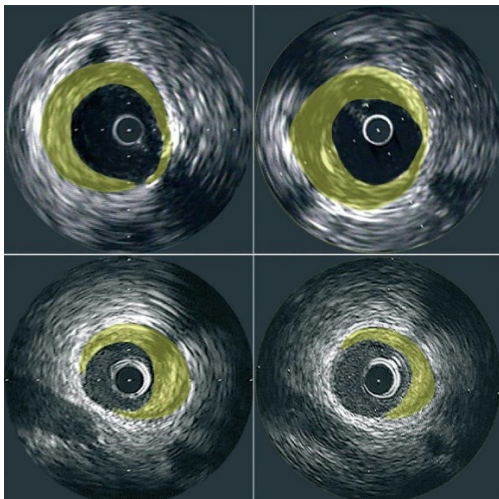
2.2.1. Enfermedad coronaria y cateterismo cardíaco

La enfermedad coronaria es considerada como una de las enfermedades que mayor número de muertes causa en países desarrollados, para Colombia esta cifra según el ministerio de salud y Protección Social representó el 49.30% de la mortalidad asociada a patología del sistema circulatorio (Méndez-Muñoz, 2020, pág. 66) generando un impacto negativo en indicadores de salud y economía en los últimos años.

La enfermedad coronaria vista desde lo fisiopatológico² es la acumulación de placas ateromatosas producto de la acumulación de grasas entre las capas íntima y media de la arteria, esta acumulación se presenta en dos fases, en la primera fase existe un aumento de la luz de la arteria, el remodelado positivo, que permite la adaptación de vaso a la ocupación de la placa y en la segunda se supera la fase adaptativa reduciéndose el lumen arterial.

Figura 1

Imagen de una ecografía intravascular



Nota: Progresión de placa ateromatosa en ateromatosa, Tomado de Evaluación de la progresión y la regresión de la aterosclerosis coronaria mediante ecografía intravascular. ¿Un nuevo cambio de paradigma? (2008), por Nicholls

² La fisiopatología estudia el funcionamiento de un tejido durante un proceso de enfermedad

En lo que respecta a síntomas asociados a enfermedad coronaria, esta se presenta de manera asintomática debido a compensación vascular (circulación colateral) o a manera de angina que se reconoce como la sensación de opresión en el pecho o dolor. La angina de pecho se clasifica en estable cuando se presenta dolor recurrente con el ejercicio, e inestable manifestada en pacientes en estado de reposo y finalmente en infarto agudo del miocardio se produce cuando existe desprendimiento de estas placas como parte de la disrupción del flujo laminar que termina produciendo trombosis y la posterior oclusión de la arteria (Sociedad Colombiana de cardiología, 2008, pág. 145).

Frente a un ictus de urgencia el paciente se debe someter a procedimiento diagnóstico denominado cateterismo que permite determinar el nivel de afectación de las arterias, en ese sentido la sociedad española de cardiología (2017) determina que ha enfermedad coronaria no obstructiva cuando existe una estenosis menor o igual al 50%, enfermedad coronaria obstructiva cuando la estenosis es igual o mayor al 50% y paciente normal.

Una vez se determina el grado de obstrucción de la arteria el paciente puede ser sometido a procedimiento de angioplastia que consiste en colocar un stent coronario que es un dispositivo que permite desobstruir la arteria afectada por la placa ateromatosa. Los stent se clasifican en 3 categorías: a) Stent Convencional: Suelen ser de hacer o cromo-cobalto pueden reobstruirse con el tiempo; b) Stent Farmacoactivo: Tiene la misma composición de los convencionales y adicionalmente libera medicamento antiagregantes plaquetarios que disminuyen la posibilidad de reobstrucción con el tiempo; c) Stent farmacoactivo bioabsorbible: Este tipo de stent se absorbe con el tiempo, pero su uso es muy limitado en cuanto a costo y tipo de casos utilizados.

El procedimiento de angiografía coronaria consiste en el paso de un catéter que es un tubo muy delgado vía arterial hasta llegar a los vasos principales del corazón, se inyecta un tinte especial mapear las arterias y a través de rayos X se toman imágenes en video para analizar si existen anomalías que lleven al especialista a diagnosticar y/o tratar la enfermedad obstructiva.

2.2.1. Historia de la Imagen biomédica:

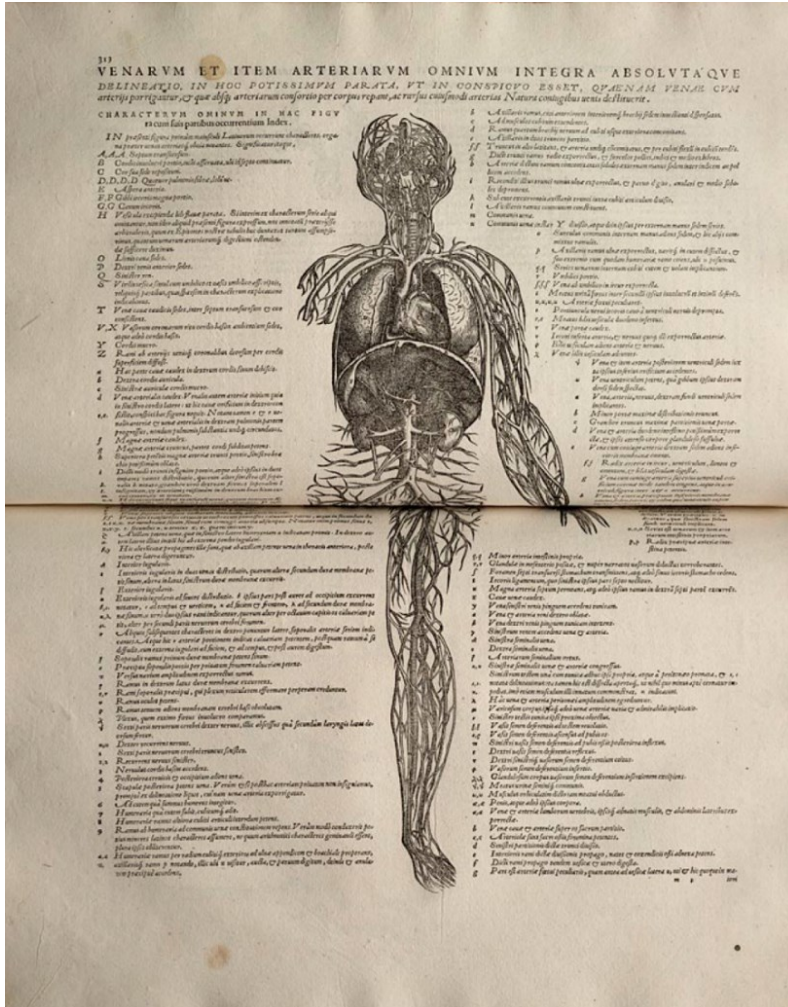
La imagen es un soporte visual que materializa un fragmento del entorno óptico (Moles, 2015, pág. 24) materializado como elemento artificial y que se transmite al individuo a través de diferentes técnicas permitiendo en su generación de contenidos, el conocimiento.

La imagen siempre ha acompañado al hombre desde la época prehistórica, se presenta desde la interpretación de su realidad expresada a través del arte rupestre, indicadores iniciales del interés del hombre por el cuerpo humano a través chamanismo. Grecia y Roma se nutrieron de oráculos en búsqueda de la sanación, se cambia de paradigma mediante la desvinculación de las prácticas paganas con la medicina antigua gracias a Hipócrates (Topolanski, 2008).

Posteriormente Galeno realizaría los primeros estudios conducentes al conocimiento del cuerpo humano a través de sus estudios en anatomía y en fisiología.

A lo largo de los siglos, anatomistas de diferentes escuelas ampliarían el horizonte del conocimiento, realizando descripciones anatómicas cada vez más precisas corroborando o desvirtuando trabajos realizados por sus antecesores, por mencionar algunos Mondino, Benedetti y quizás el más grande y reciente Andreas Vesalio (1543) con su libro “De Humani Corpori Fabrica”(Figura 2.), donde describe con grandeza a través de sus grabados la anatomía humana que dio pie al estudio de la medicina moderna. Todas estas descripciones tenían fundamento en el dibujo como parte esencial de su descripción e interpretación.

Figura 2
Ilustración del sistema Circulatorio



Nota: Tomado de *De Humani Corpori Fabrica* (p. 316), por A. Vesalius, 1543, The Warnock Library

Para hablar de la imagen biomédica se debe plantear un abordaje a través de grandes hitos o momentos que permiten entender cómo ha sido el desarrollo de esta técnica diagnóstica y terapéutica.

La Radiología con su descubrimiento en el año de 1895 (Eisenberg, 1992, pág. 22) marcó el primer hito importante en el avance científico conducente al conocimiento del cuerpo humano como elemento de la praxis médica desde otras ópticas. Su importancia radica no solo en la oportunidad de examinar el cuerpo humano sin tocarlo, situación que para la época se consentía impensable. Su real impacto se sostiene en que la observación de los fenómenos físicos como la electricidad y el magnetismo, además de los complementos propios de la mecánica y la fotografía que convergieron con un solo objetivo, mejora la forma de interpretar los tejidos basándose en el concepto de las densidades y de los contrastes aplicados a esta nueva técnica de visualización, dando paso a importantes hallazgos y a la revolución de la imagen.

La respuesta de la comunidad científica ante este nuevo hallazgo fue inmediata y la variedad de aplicaciones se hizo visible en los diferentes campos del conocimiento que emergían con vitalidad a la luz de la revolución científica que se vivenciaba en el siglo XIX (Cañedo, 1996).

En el campo específico de la cardiología, el Doctor Werner Theodor Otto Forssmann realizaría el primer cateterismo cardíaco en el año de 1905(Figura 3.), exponiéndose como paciente al realizar este procedimiento en su mismo cuerpo a través de una veno-punción (Martínez & Toledo-Pereyra, 2000, pág. 257), posteriormente recibiría el premio nobel de fisiología por sus aportes en la cardiología en conjunto con los médicos André Cournard y Dickinson Richards en el año de 1956 (Mesquita & al, 2015, pág. 188)

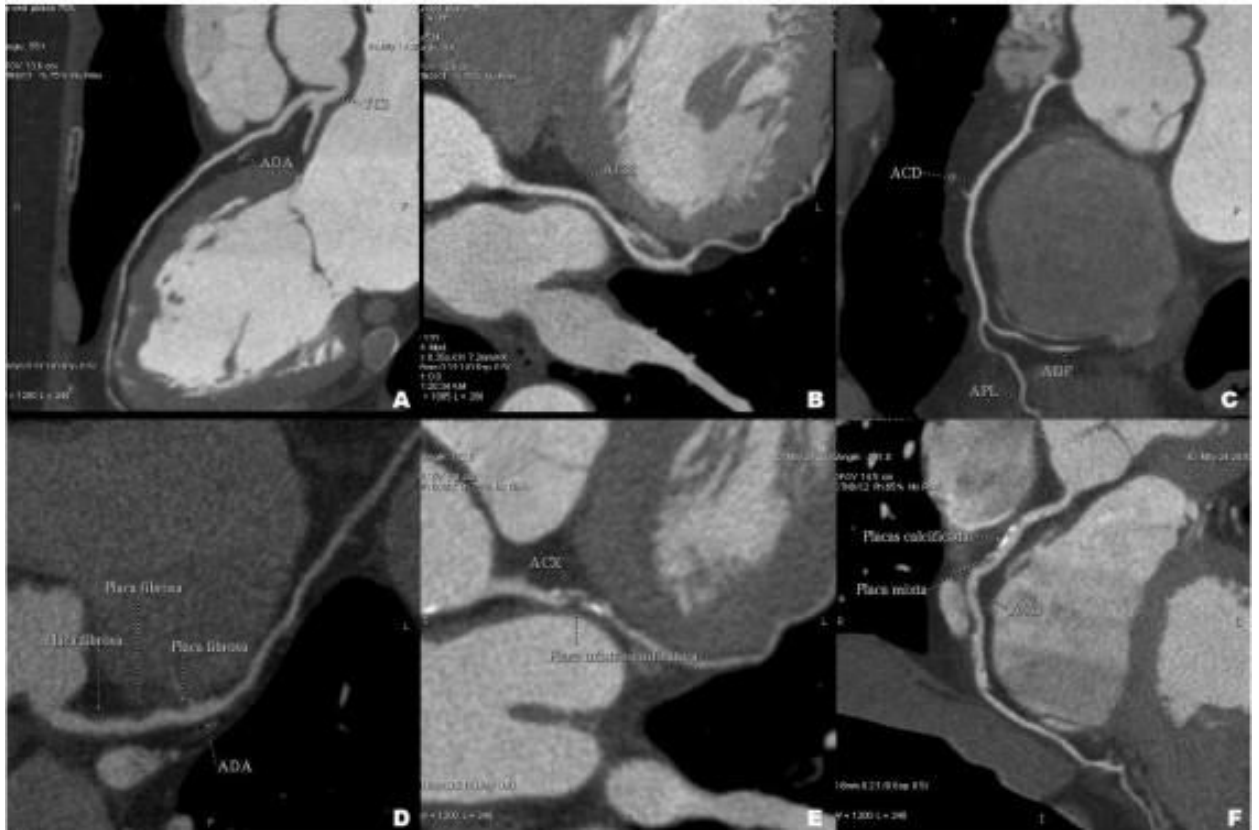
Figura 3
Primer cateterismo cardíaco



Nota: se observa en el plano imagen radiopaca que determina el ingreso del catéter por el tronco braquiocefálico izquierdo. Tomado de *Radiology an Illustrated Hystory* (p.225), por R.L. Eisnberg

Otro hito importante lo permitió Sir Godfrey Newbold Hounsfield quien desarrolló la tomografía axial computarizada (Eisenberg, 1992, pág. 430) en la cual se hace apropiación de la computación en la imagen biomédica dando paso a la imagen digital. La tomografía computarizada permite el análisis de las densidades de los tejidos y la visualización en tercera dimensión del cuerpo humano, y su uso se ha incrementado de manera tal que la interpretación de las imágenes ha dado paso al estudio anátomo-patológico de los cuerpos de manera virtual (ASO, 2005, pág. 96). Ejemplo de ello es la Angiotomografía coronaria (Figura 4.) que permite cuantificar los niveles de calcio en las arterias logrando pronosticar la posibilidad de infarto agudo al miocardio (IAM).

Figura 4
Angiotomografía cardíaca

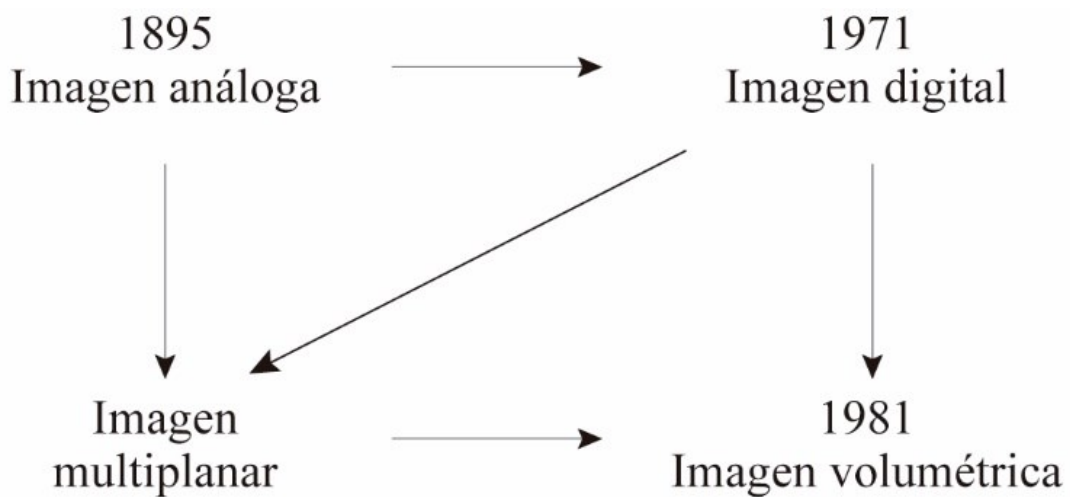


Nota: Se observan las arterias coronarias calcificadas que indican enfermedad obstructiva. Tomado de *Avances en cardiología nuclear: fusión de imágenes. SPECT/TC, PET/TC* (p.56), por M. Beretta. <https://cutt.ly/hgGmZlg>

Retomando el concepto histórico, una de las claves del segundo desarrollo de la imagen médica diagnóstica, se presenta en la articulación de la tridimensionalidad. En sus inicios, la radiología convencional permitía de forma limitada hacer valoraciones del eje “z”, basados en la producción de imágenes análogas a través de rayos X en proyecciones anteriores, posteriores y/o laterales; parte de esas dificultades radica en que los rayos X no pueden distinguir los tejidos blandos subyacentes en zonas específicas y no es posible hacer mediciones de forma cuantitativa

(histogramas) de los tejidos que son atravesados por estos. Hounsfield en el año de 1971, introduce la primera imagen digital a través de la Tomografía Axial computarizada, la gran importancia de este desarrollo tuvo que ver con la posibilidad de estudiar al paciente en los tres planos y en la posibilidad de estudiar la atenuación de los tejidos a través de sensores de ionización. En la (figura 4) se observa la cronología del paso de la imagen análoga a la digital y de la multiplanar a la volumétrica

Figura 5
Cronología de la imagen biomédica



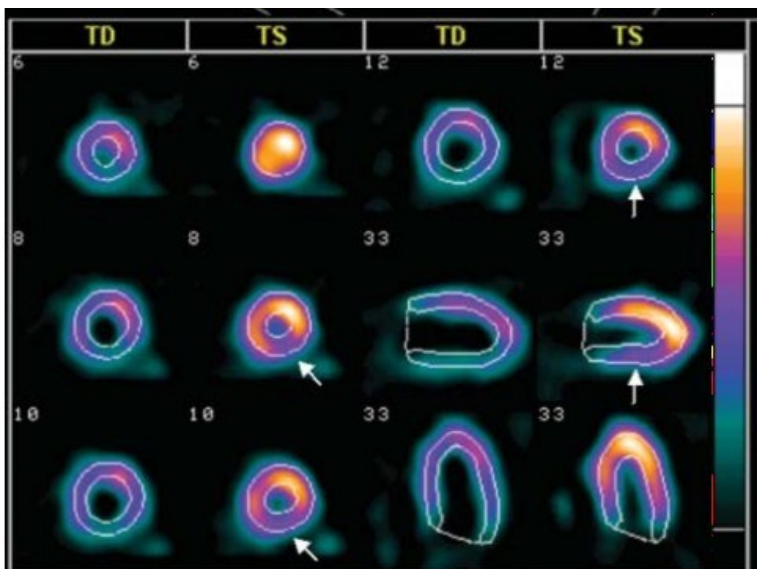
Nota: Imagen propia

La gammagrafía (Padrón García, 2016) es desarrollada a partir de la radiactividad por Marie Curie, pero se emplea rayos gamma que permiten la visualización fisiológica de los órganos dando datos importantes para la interpretación de las posibles patologías presentes (figura 6.). Gracias a este desarrollo se puede entender mejor como funciona y como se tratan patologías a partir de la adherencia de radio-trazadores que permiten identificar los focos activos

de la enfermedad incluso mucho antes que estos puedan ser visualizados por otras técnicas imagenológicas.

Cabe la anotación que en la imagen biomédica no solo usa la radiación ionizante como instrumento para la visualización del cuerpo humano, descubrimientos como el electromagnetismo aplicado en la matemáticas como método de análisis del núcleo electrónico del átomo dió paso a la Resonancia Magnética (Canals, 2008, pág. 40), Raymond Damadian (1971) inventor de este aporte científico aportó a la categoría de la imagen cualidades de visualización superiores en lo referente a la disgregación de los tejidos sanos de los patológicos, su mayor ventaja obedece a la disminución de los riesgos asociados a la radiación y sus efectos en el DNA.

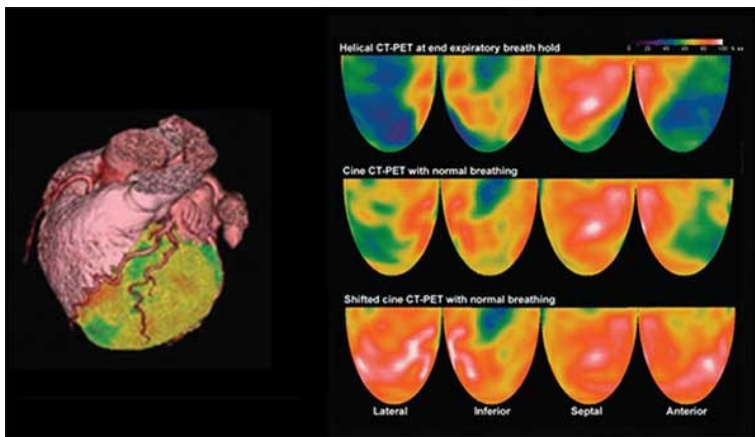
Figura 6
Gammagrafía de perfusión miocárdica



Nota: La Gammagrafía de perfusión miocárdica evalúa irrigación al musculo y viabilidad de contracción cardíaca. Tomado de precisión diagnóstica de la gammagrafía de perfusión miocárdica en atletas asintomáticos tras ergometría positiva (2017) por F. de la Guía

El hito más reciente descansa en el uso de la imagen fusional (Figura 7.) que como su nombre lo dice reúne los elementos de la medicina nuclear que permite el mapeo fisiológico del cuerpo y la tomografía multicorte o la resonancia magnética que aportan la visualización anatómica. Cada subdisciplina de la imagenología presenta ventajas y desventajas que en mayor o menor medida afectan la posibilidad del abordaje del tratamiento, en ese sentido se viene desarrollando equipos con la capacidad de realizar un doble examen in situ para permitir mayor información de la patología, caso puntual es el Pet-Ct (Roldán-Valadez E, 2008) que usa rayos X y rayos Gamma el cual usa un radiofármaco que se biodistribuye permitiendo la traza de anomalías y análisis de zonas metastásicas en el paciente oncológico, aportando datación de primer orden para planeación del tratamiento en este tipo de pacientes.

Figura 7
Imagen de perfusión cardíaca con radioisótopos



Nota: La imagen de perfusión cardíaca con radioisótopos que permite la evaluación de la anatomía y el funcionamiento del corazón tomada de "pet-ct cardiac": una nueva dimensión en la cardiología de imágenes(2008) por J. Pérez. <https://cutt.ly/NgGmVwb>

Con el avance de la electrónica, el paso de lo análogo a lo digital convino la necesidad de crear sistemas de archivo y visualización que permitieran el acceso a la información de los exámenes realizados en los departamentos de imagenología. En ese sentido se desarrollaron los RIS-PACS (*Radiology Information System-Picture Archiving and communications system*) que permiten el acceso a través de redes neuronales a las bases de datos de imagenología y a la historia clínica permitiendo el acceso remoto y eficaz de los paquetes de imágenes que a su vez tienen un código abierto de visualización (DICOM,2014) desde cualquier área hospitalaria para la consulta de maneras efectivas.

Enfrentarse a la Imagenología Biomédica actual, es enfrentarse al mundo digital, los RIS-PACS (*Radiology Information System-Picture Archiving and communications system*) hacen parte ya del cotidiano desempeño de interfaces que permiten visualizar los paquetes de imágenes que a su vez tienen un código abierto de visualización DICOM (Nema.org, 2010) , las cuales pueden ser analizadas in situ o ex situ a través de cualquier dispositivo electrónico con capacidades mínimas de recepción (dependiendo de la relación de resolución espacial que se necesite y software apropiado), dando paso a la cibertecnología ampliando de esta forma la cobertura con calidad de las empresas prestadoras de salud. Las imágenes biomédicas están compuestas de metadatos que permiten identificar mediante códigos el paciente, el tipo de examen realizado, y demás datos técnicos de adquisición y de reconstrucción de la imagen biomédica.

2.2.2. La Imagen Computacional:

En las últimas décadas, la imagen digital ha ocupado un lugar predominante en el campo de la imagenología médica, los desarrollos tecnológicos han evolucionado al punto de integraciones cada vez más eficientes permitiendo que áreas de las ciencias de la salud sean beneficiadas utilizando los nuevos desarrollos con objetivos de mejoramiento de calidad y servicio encaminados al bienestar del paciente y de los profesionales involucrados en el área.

El universo está compuesto de diferentes fenómenos físicos que explican las diversas relaciones e interacciones que se puede dar entre la materia.

La variación de estos fenómenos físicos a través del tiempo genera valores mensurables, los cuales se pueden representar como señales (Dillenseger, 2012), cada uno de estos fenómenos físicos variables en el tiempo, permite al observador obtener el sentido de lo que representa el mundo análogo, ejemplo de ello son la temperatura, la presión, la intensidad luminosa, la radiación solar, entre otras. Estos fenómenos son muestra de algunas magnitudes que presentan este comportamiento de continuidad en el tiempo, en ese sentido si se quiere realizar el análisis y la representación de los fenómenos físicos, se utilizan señales análogas o señales digitales que son interpretadas según el fenómeno.

La tecnología a través de la electrónica ha permitido que se puedan adquirir señales y convertirlas en representaciones medibles conocidas tales como señales eléctricas, cuando se adquiere la variable eléctrica analógica y con el objetivo de convertir en una imagen visible a través de procesos de digitalización, se deben incorporar los datos en un *convertidor análogo – digital (CAD)*.

Si se tiene en cuenta que las imágenes digitales están determinadas como cualquier imagen en la que la información se representa a través de valores discretos o binarios, con valores enteros (Bushong, 2017), se hace necesario estipular un proceso para llegar a tal fin. Este proceso tiene en cuenta tres características:

El muestreo, como primer paso, en el cual se realiza una división en varios fragmentos de la señal análoga. Teniendo en cuenta que el muestreo debe permitir obtener una señal digitalizada que represente la señal original, se debe cumplir la Teoría de Nyquist-Shannon (Semera, 2015), en la cual la frecuencia de muestreo debe ser mínimamente del doble de la mayor señal de frecuencia que tenga la señal original. Cuando se hace el muestreo de una imagen, las divisiones realizadas van en sentido horizontal y sentido vertical, por tanto se produce un tipo de “cuadrícula”.

Cada uno de los elementos de la “cuadrícula”, conforma un elemento celular de imagen individual o píxel (Graham, 2012).

Los píxeles (*picture element*), representan los elementos unitarios de la imagen y tiene una ubicación en el plano $X - Y$. Esto trae consigo que todos los píxeles organizados en columnas y filas forman una matriz, quien resultará como factor primordial para determinar la calidad de la definición de la imagen digital. Al incluir imágenes en 3D, el concepto utilizado se denomina vóxel. La diferencia entre estos dos, radica en que se cuenta con una dimensión adicional, la cual corresponde al espesor del corte utilizado (Guy & Ffitch, 2005, pág. 225).

La cuantificación es una característica en la cual a cada uno de los fragmentos de división productos del muestreo se asigna un valor entero a cada píxel. Con base en este proceso, se asigna el número de valores diferentes que pueden atribuirse a las muestras, expresados en bits (*binary digit*) (Graham, 2012).

La codificación, como etapa final del proceso, transforma los valores producto de la cuantificación, en números binarios, asignando valores a través de niveles. En esta etapa se presenta una especie de imagen latente digital.

La etapa posterior de conversión se desarrolla dentro de un ordenador, en donde la CPU (*Central Process Unit*) a través de instrucciones y algoritmos, reúne los valores binarios que

corresponden a la imagen y a través de diferentes clases de software permite la visualización, edición, almacenamiento o envío como parte del proceso de la imagen digital en la imagenología médica.

2.2.3. Simulación Clínica:

La simulación clínica puede definirse como el conjunto de técnicas para recrear aspectos del mundo real reemplazándolas por experiencias verdaderas en ambientes seguros. Como herramienta didáctica la simulación clínica pretende lograr metas educativas por medio del aprendizaje de experiencias mejorando la adquisición de conocimiento en comparación a otras metodologías. (Ruíz, Ángel, & Guevara, 2009, pág. 70)

Si se hace un escrutinio juicioso a la historia de la simulación, el lector podrá encontrar que desde la antigüedad se construyeron modelos en pinturas, tallas en madera, barro y arcilla de pacientes humanos para demostrar diferentes tipos de enfermedades y sus efectos, ejemplo de ello las cerámicas egipcias que representan la acondroplasia (*enanismo*), o las representaciones de labio leporino halladas en cerámicas precolombinas mexicanas (Correal, 1985, pág. 15) .

La simulación moderna se vincula como un elemento determinante en los procesos cognitivos en 1929, momento en el que el ingeniero Edwin A. Link desarrolla un simulador de vuelo (*Link flight trainer*) para el entrenamiento de pilotos ya que brindaba seguridad y reducía costos en el proceso, a posterior se convertiría en el plan de trabajo al llegar la segunda guerra mundial y necesitar una gran cantidad de pilotos.

El desarrollo que la simulación ha alcanzado en poco menos de un siglo en diversas áreas ha sido vertiginoso, para el área de ciencias de la salud existen cuatro pilares que le han permitido

su avance significativo convirtiéndose en punta de lanza en la adquisición de competencias. El primero de ellos es el desarrollo de la bioética que se introduce con la declaración de Helsinki en 1964 el cual protege a los seres humanos de la experimentación médica, el segundo se basa en la educación médica que urge cambios de paradigmas en cuanto competencias profesionales y aseguramiento de la calidad de la educación superior, el tercero obedece a la seguridad del paciente como actor pasivo en la curva de aprendizaje de los estudiantes de ciencias de la salud y la complejidad tecnológica emergentes que se derivan del avance investigativo multidisciplinario y finalmente, el cuarto se refiere a los avances en computación, uso de nuevos materiales, la realidad virtual y la háptica (Corvetto M. B., 2013, pág. 70).

Con la penetración en el mercado de los simuladores y la aceptación de los programas de ciencias de la salud como una técnica didáctica importante se hace necesario comprender que existen diferentes tipos de simuladores clínicos que según su complejidad apoyan el desarrollo de las actividades académicas (Dávila A. , 2015, pág. 102):

- **Baja fidelidad:** Son simuladores de segmentos anatómicos, también denominados *part task trainers* (Corvetto M. B., 2013, pág. 73) y/o maniqués básicos en el que se pueden desarrollar habilidades cognitivas pasivas, así como logran habilidades psicomotoras y prácticas de habilidades básicas para realizar algunos procedimientos invasivos o no invasivos. Ejemplo de ellos es el aprendizaje de la exploración ginecológica, toma de presión arterial, canalización de venas.
- **Fidelidad intermedia:** Estos simuladores hacen uso de computadores que dan paso hacia la inmersión de escenarios virtuales que permiten el manejo de variables fisiológicas. Con este tipo de simulación se logra la adquisición de habilidades psicomotoras, cognitivas e

interpersonales al tener que enfrentarse la realización de procedimientos de diagnóstico, manejo de pacientes. Ejemplo de ellos son los simuladores de reanimación cardiopulmonar.

- **Alta fidelidad:** Actualmente los *Human Patient Simulators* cuentan con la capacidad de interactuar con el estudiante que conlleva a la imitación de la atención a un paciente en entorno hospitalario, dentro de sus características está el uso de software y hardware que permiten un alto realismo en prácticas complejas que conlleven a elevado estrés y la generación de trabajo en equipo. Este tipo de simuladores está orientado a equipos de trabajo que dependan de competencias avanzadas, así como la resolución de casos clínicos complejos. El desarrollo de habilidades de interacción, psicomotoras, cognitivas e interpersonales se logran con el uso de estos simuladores, por ejemplo, reconocimiento de enfermedades cardíacas, intubación endotraqueal en niño y adulto, emergencias en unidades de cuidado intensivo.

El concepto de alta fidelidad no está definido por el nivel tecnológico empleado *per sé*, se involucra el entorno realista del escenario hospitalario en el que se adquieren las competencias, es así que el empleo de otras unidades de simulación como los *Task Trainers* que apoyan el proceso de interacción con la realidad, esto aunado a la complejidad de los casos y al *role playing* (papel que desempeña cada participante en la simulación) permitirá el éxito de cada ejercicio.

Dentro de las ventajas de la simulación clínica se puede mencionar que permite el trabajo en equipo permitiendo la retroalimentación inmediata generando actitudes de liderazgo y toma de decisiones en situaciones críticas donde se maneja estrés, otro aspecto a resaltar de la simulación clínica es la mejora de la comunicación con el paciente y la relación entre disciplinas; A su vez el error hace parte importante de la curva de aprendizaje creando una mejor adherencia a los protocolos de trabajo si se compara con sistemas tradicionales de enseñanza.

Otra de las ventajas de la simulación clínica es el *debriefing*, que se convierte en el diálogo entre un grupo de personas para revisar un evento real o simulado (Maestre & Rudolph,

2015, pág. 282) y su objetivo principal es mejorar los estándares de rendimiento teniendo siempre en cuenta el lado humano del proceso. El concepto comunicacional retoma valía, en tanto la interacción instructor/estudiante permita la reflexión de lo acontecido durante la experiencia académica, evaluando a su vez los procesos mentales, las habilidades técnicas y no técnicas, la emocionalidad producto del estrés que puede generar el escenario al ser observado a nivel grupal.

Para los modelos de simulación de mediana y alta fidelidad la estrategia didáctica implica escenarios que generen un grado de emocionalidad. En el modelo circunplejo de Russell³ (Figura 8.) los escenarios deben lograr el suficiente estímulo emocional de modo tal que se activen los cuadrantes del placer y activación, si se mantiene al estudiante en estas zonas y solo se desactivan para momentos de reflexión como por ejemplo el *debriefing* se podrá tener un aprendizaje emocional (Amaya, 2012, pág. 48)

Figura 8
Modelo Circunplejo de Russell

³ Algunos autores lo denominan modelo “circunflejo” y habla de dos dimensiones: la primera habla de la intensidad de las emociones y su nivel de activación y la segunda del modo de valoración donde están presentes las emociones



Nota: Elaboración propia.

Sin embargo, también existen algunas limitantes que obedecen al costo del montaje de un laboratorio que permita abarcar grupos importantes de estudiantes, así como el costo del entrenamiento del talento humano lo cual lo convierte en un reto importante para las instituciones de educación superior como estrategia didáctica.

De igual forma otra de las posibles limitantes es la resistencia de los participantes al nuevo modelo didáctico de aprendizaje que como se describe en otro aparte del documento genera desconfianza al no existir empatía y por lo tanto rechazo a la experiencia no logrando los objetivos propios de la simulación clínica.

Se presentan tres etapas en este proceso de co-creación reflexiva simulada: la primera etapa es la planificación: Donde se generan acuerdos de evaluación formativa permitiendo aclarar las expectativas de desempeño. La segunda etapa: Se enfocan en los objetivos que determinen las

expectativas de desempeño logrando una retroalimentación objetiva entre lo deseado y lo ejecutado. La etapa final es el debriefing propiamente dicha que permiten la revisión en conjunto del desempeño y se analiza el conocimiento desarrollado (Mejía, 2017, pág. 56)

2.2.4. Realidades Integradas y Dispositivos de Visión Artificial:

Con la democratización de las tecnologías de la comunicación y la información (TIC) que han penetrado de maneras notorias la forma de interacción de la sociedad contemporánea, el acceso a dispositivos tecnológicos cada vez mas robustos y económicos han facilitado el acceso a plataformas de interacción en múltiples áreas del conocimiento.

Ejemplo de ello es la visión artificial, la cual está definida como la ciencia de programar un computador para procesar imágenes e incluso entenderlas (Alvear-Puertas, 2017, pág. 247).

Gary Bradski & Adrian Kaheler (2017) en su libro Open Learning CV (Figura 8.), detallan el paso a paso del proceso de ejecutado en la visión artificial, realizando un exhaustivo recorrido técnico desde la captura de la imagen a través de dispositivos hasta la interpretación final :

Figura 9
Interpretación ruta visión artificial



Nota: Elaboración propia

Todo este proceso en la imagen artificial permite que los datos primitivos capturados por el dispositivo, se presenten con la morfología apropiada y eficiente, lo cual le permitirá al cerebro una mejor interpretación de lo observado, logrando de esa forma una mejor retroalimentación de la información que se requiere.

Entre el giro pictórico (Mitchel, 2009, pág. 29) y el giro semántico (Krippendorff, 2007, pág. 17) que se evidencia a través de la imagen digital, se permean los procesos cognitivos que entroncan su propio paradigma transdisciplinar toda vez que las tecnologías emergentes reorientan las capacidades exteroceptivas y propioceptivas en el aprendizaje sistémico surgiendo a modo de mapas mentales semiológicos (semiología médica).

Sin embargo, en esta concepción el individuo genera modelos distintos de apropiación del conocimiento dadas las relaciones del tránsito de información entre el usuario y el computador. En la teoría de la mente extendida propuesta por Andy Clark y David Chalmers (1998, pág. 9) el externalismo activo posiciona la mente y la cognición de manera metafórica en el computador, el fenómeno funcional ha de presentarse a través de dispositivos e interfaces que medien entre la realidad y la virtualidad.

En su consideración la interacción Humano-Computador (HCI) aparece como una de las determinantes claras a la hora de centrar las experiencias a través del artefacto.

Con la integración de la computación en la medicina y el desarrollo de tecnologías emergentes de la información como herramientas cognitivas para el abordaje de problemas asociados a condiciones de salud, se ha impulsado el cambio de paradigmas en lo que respecta al enfoque de la didáctica para el aprendizaje (Pérez, Cruz, & Romero, 2016, pág. 217).

Dentro de los grandes revoluciones tecnológicas, la telecirugía se ha considerado como la “segunda revolución francesa” (Marescaux, 2013, pág. 265) en la cúspide del abordaje quirúrgico en tanto las plataformas robóticas se han transformado como potenciadores de las capacidades propioceptivas humanas.

Si bien las dificultades de esta técnica obedecen no solo a las posibilidades asincrónicas del abordaje, sino a los costos exorbitantes para su masificación, no se deja de lado la carga experiencial que se debe tener para afrontar este tipo de tecnologías.

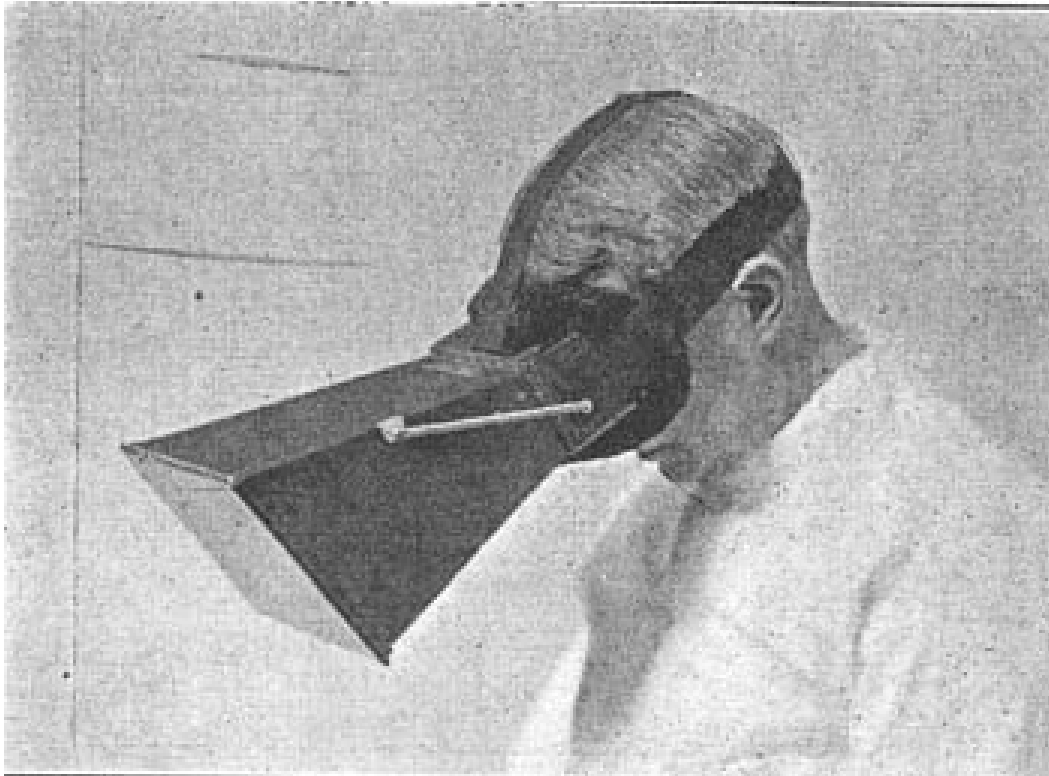
Las barreras sinestésicas de la telemedicina se centran en la dificultad de percibir mecánicamente la densidad de los tejidos a través de lo háptico, sin embargo, avances en la ingeniería de la usabilidad y la accesibilidad permiten que el procesamiento de información sea mayor, lo háptico se convierte en artefacto en tanto es eje central de la emocionalidad al recrear a través de las interfaces la respuesta cognitiva esperada.

Si la relación en términos de comunicación entre el médico-paciente es limítrofe, el uso de tecnologías emergentes hacen de esta cada vez más utópica en términos de metalenguaje, su consideración surge a partir de la visualización de datos representadas en imágenes que a su vez se convierten en interfaces relacionales a través de la superficie y de la profundidad (Manovich, 2005, pág. 140), el resultante es la unicidad de la información en tanto quien la interpreta se ha especializado en este tipo de lenguajes y su receptor adolece de estas, existiendo una disrupción comunicacional.

En 1896 la estereoscopía (Eisenberg, 1992, pág. 79) fue usada como técnica de visualización tridimensional de objetos anatómicos a través de radiografías dando inicio a desarrollos superiores que involucraron intensificadores de imágenes adaptados a los ojos que lograban gracias al uso de la radiación interpretar y diagnosticar patologías de manera sincrónica, ejemplo de ello el dispositivo creado por Carl V.S. Patterson (Figura 10.)

En la actualidad este tipo de dispositivos forman la imagen a través de una fuente radiante, sin embargo su representación visual no se hace de manera directa en la pantalla, caso del fluoroscopio, en los nuevos dispositivos intervienen el objeto, la fuente radiante, el sensor de imagen, el digitalizador y un sistema óptico (González & al, 2006, pág. 21)

Figura 10
Patterson Operating Fluoroscopy

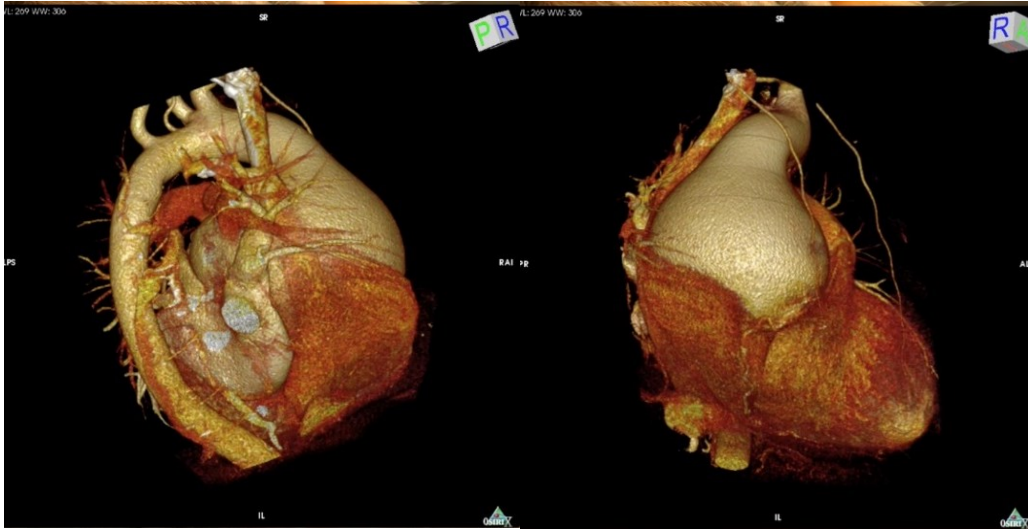


Nota: este dispositivo estaba compuesto de tungstato de cadmio que fluorescía al contacto con los rayos X. Tomada de Museo del Dr Zahi Hakim.(2019) <https://bit.ly/3r72X2L>

La interfaz gráfica de usuario (GUI), ha tenido una proyección significativa que se ha ido empoderando desde el mismo potencial computacional. Esto ha permitido, que cada desarrollo de interfaz sea más intuitivo, logrando desde la misma conceptualización procesos costo/efectividad importantes posicionados como factor determinante en el mundo globalizado de hoy, logrando para ello que desde el reloj despertador digital hasta las poderosas máquinas de cómputo existentes para el desarrollo de renderizado volumétrico (Figura 11.) en equipos de última tecnología biomédica, presenten modelos de interfaz cada vez más minimalistas, pero muy superiores permitiendo enfocarse en la interpretación del dato y no en la construcción de él.

Figura 11

Reconstrucción Volumétrica de corazón por técnica tomografía multicorte



Nota: Imagen propia

La interfaz actúa como un código que transporta mensajes culturales en soportes diversos, su diseño responde a estándares determinados por elementos sociales que permiten entender desde lo estético la constante de su desarrollo y lo que implica a través de protocolos establecidos para su masificación.

En las interfaces de imagen-instrumento, en lo que Manovich (2005, pág. 227) denomina telepresencia, su manipulación permite: la representación de la imagen inmediata a través del video y la manipulación de la realidad física del mismo lugar en tiempo real. Un ejemplo de ello se presenta en la imagen endoscópica, la cual a través de la cámara de visión frontal o lateral dependiendo del procedimiento, permite al médico realizar una inspección sincrónica de la mucosa gastrointestinal del paciente.

Las interfaces según Coomans (1995), permiten la relación entre el usuario, el actor y el sistema ya sea este análogo o digital, el *feedback* de esta interacción permite evaluar la cantidad y la cualidad de la información que llega a través de la misma.

En este orden de ideas se debe entender la interficie como cualquier tipo de sustrato sobre el cual se pueden ejecutar una serie de acciones que van determinadas en un orden no previsto por completo inicialmente (Bettetini & Colombo, 1995), para un médico que atiende a un paciente a través de la telemedicina, este recibe a través de la pantalla de su computador la información necesaria para llegar a un diagnóstico, esta información que viaja a través de circuitos es la que permite la retroalimentación final de los exámenes de diagnósticos realizados a distancia.

Con la evolución del software y el hardware, las técnicas de abordaje, auscultación e interpretación del cuerpo humano se han vuelto cada vez más sofisticadas en tanto la capacidad de alcanzar el detalle anatómico se acerca a la mimesis digital.

Si bien el concepto de mimesis hace referencia al contexto ontológico de la representación, su enlace a la imagen digital procede a una reflexión tecnológica que aborda el referente de la imagen real y su traducción algorítmica, lo que la supone una versión mimética aunque irreal (Berti, 2009, pág. 6). Es por ello que la realidad virtual se concibe en el espectro mimético de la representación, es decir su objetivo no es solo parecerse, sino que produce los mismos efectos ocupando su lugar a modo de simulacro. Se debe entender el simulacro como la paradoja de convertir lo material en información convertida en códigos dispuestos de manera inmaterial en las redes del ciberespacio (Castañares, 2011, pág. 65).

Esto implica que conceptos como la realidad virtual, la realidad aumentada y su conjunción las realidades mixtas, se abran espacio en las instalaciones de simulación clínica con

versiones poderosas del cuerpo humano que permiten el aprendizaje de maneras impensables en siglos anteriores.

La realidad virtual dependiendo del área del conocimiento tiene su particular definición, en ese sentido para Steuer (1992) “Una ‘Realidad Virtual’ se basa en los conceptos de presencia y telepresencia que se refieren a la sensación de estar en un entorno generado por medio naturales o mediados respectivamente, también puede definirse como una sofisticada interfaz hombre-máquina (Montero, 1996).

En la realidad virtual se emplean gafas del tipo *head mounted display* (HMD), geolocalizadores y *joysticks* que permiten al usuario sumergirse en el mundo virtual y tener acceso a las interfaces con las cuales ha de tener interacción, permitiéndole realizar acciones predeterminadas logrando una experiencia propioceptiva con diferentes fines (investigativos, lúdicos, académicos, industria militar, entre otros).

Cardozo (2004), habla de las principales características de la realidad virtual, ellas son:
Inmersión: Es la capacidad de abstracción del ambiente real en el que se encuentra el usuario del sistema. En la RV se intenta hacer esto estimulando los sentidos de manera que el usuario sienta estar dentro de la nueva realidad.

Presencia: Para que el usuario pueda interactuar dentro de la RV debe poder estar dentro de ella. Así que se convierte en característica fundamental, estar presente dentro del sistema y esto se logra por medio de diferentes dispositivos de entrada. (Sensores de movimiento, de dimensiones, guantes, visores).

Interactividad: El sistema RV no es pasiva, así que se pueden realizar acciones en el sistema que vaya modificándolo. Existen tres estadios de interactividad, Ávila (2003) cada uno de ellos permite un grado de interacción que determina la posibilidad de participar con lo humano, la

interactividad social, con lo tecnológico, la interactividad virtual y con lo ambiental, la interactividad perceptual.

A su vez, el realismo de un entorno virtual está determinado por:

- **Resolución y fidelidad** de la imagen: Esta se encuentra mediada por la resolución espacial y la resolución de contraste.
- **Reproducción de las propiedades** de los objetos y de los escenarios virtuales.
- **Reacciones de los objetos:** Deben reaccionar del mismo modo que lo haría el objeto real en el momento de sufrir cualquier tipo de manipulación.
- **Interactividad:** El usuario debe poder moverse y actuar en el entorno virtual de un modo intuitivo y en “tiempo real”
- **“Feed-Back” o respuesta sensorial:** El usuario debe poder percibir tanto la firmeza o elasticidad del objeto virtual, como del resto de indicadores táctiles y propioceptivos. La escena virtual no debe ser silenciosa, debe incluir también sensaciones auditivas.

De la Realidad Virtual, se derivan tres categorías que permiten establecer su connotación: Interactiva, implícita y sensorial.

Simulación Interactiva:

Es una representación digital de una estructura en la memoria del computador, el observador es pasivo pues su interacción no permite generar variaciones en cuanto a contraste de la imagen ni efectuar mediciones a través del software de visualización. En la Figura 12 se observa una radiografía análoga (escaneada) del Tórax de un paciente de género masculino, se analizan estructuras del mediastino y del parénquima pulmonar, así como las estructuras óseas y la vía aérea del paciente.

La radiografía permite describir hallazgos semiológicos del paciente con base en la historia clínica y la anamnesis que el profesional de salud realice al momento del examen radiológico.

Figura 12
Radiografía de Tórax



Nota: Imagen digital de radiografía de tórax normal

Interacción Implícita:

Captura los movimientos voluntarios del usuario de manera natural. En la figura 13, se observa “frame” de una video resonancia del eje corto del corazón a través de un corte axial de un paciente de género femenino, el video permite al profesional de la salud analizar asincrónicamente la movilidad del músculo cardíaco y verificar de igual forma los segmentos anatómicos del mismo.

Para ello, se vale de herramientas propias del software que varían los niveles de contraste de la gama de grises y avanzar en los diferentes planos para mejorar la disposición espacial del profesional de la salud con respecto a la posición anatómica del corazón y sus segmentos.

Se usó como herramienta de renderizado el software open source OsiriX, potente herramienta de trabajo que permite realizar múltiples tareas de análisis de las imágenes a través de *plug-in* especializados para la imagen radiológica en las diferentes especialidades.

Figura 13

Frame Video 2D Corazón Resonancia Magnética.



Nota: Imagen propia

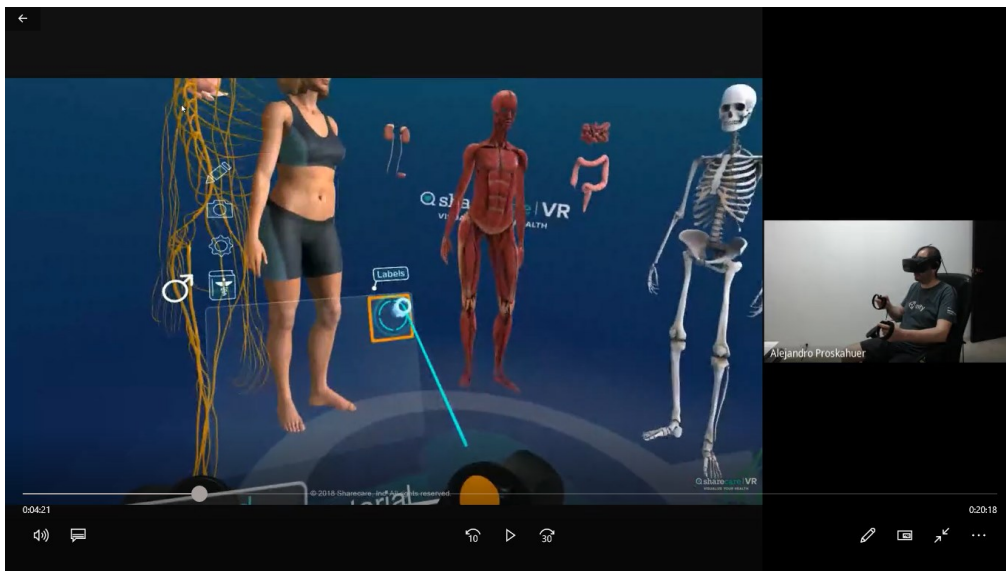
Inmersión Sensorial:

Es la desconexión de los sentidos del mundo real y la conexión al mundo virtual. En la figura 14, se observa uno de los participantes en la investigación objeto de esta tesis, empleando

tecnología HDM con gafas *oculus Rift* y mandos tipo *joystick* ingresando a aplicación de anatomía virtual en la cual se puede estudiar el corazón en sus diferentes dimensiones anatómicas

La interfaz de trabajo es intuitiva en lo que respecta a entender el efecto visual que se desea tener y los parámetros anatómicos que se desean resaltar en términos iconográficos.

Figura 14
Experiencia inmersiva con gafas Oculus Rift



Nota: Imagen propia

Por su parte la Realidad Aumentada (RA) es una interfaz basada en una combinación de información generada por computador (imágenes estáticas y dinámicas, sonido especializado y sensaciones hápticas) con el ambiente real del usuario, provista por dispositivos tecnológicos y que usa interacción natural con el mundo real (Kirner, 2011, pág. 32).

Para una adecuada experiencia de RA, se hace necesario contar con diferentes elementos como dispositivos con cámaras, estos pueden ser cámara web o cámara del celular. Se hace

necesario un software de mediación que permita traducir los códigos de información provenientes de disparadores que pueden ser imágenes, códigos QR, objetos entre otros y que permiten la acción.

La realidad aumentada cuenta con dos tipos de posicionamiento, la primera es a través de geolocalización que se encuentra en los dispositivos móviles a través de sus sistemas GPS (para detectar la ubicación del usuario), acelerómetro (para detectar la elevación y el ángulo de la cámara) y la brújula (para revelar la orientación); la segunda funciona a través de marcadores QR que permiten su acceso desde redes wifi o a través de *markerless* NFT donde el marcador es un objeto o imagen.

La realidad aumentada contempla niveles de complejidad y estos dependen del nivel tecnológico: Nivel 0: se usan códigos de barras y 2D, permiten el enlace a contenidos; nivel 1: utilizan marcadores en blanco y negro cuadrangulares, permiten reconocimiento de objetos 3D. Nivel 2: no hay necesidad de marcadores, estos se sustituyen por el GPS o la brújula quienes determinan la localización del usuario superponiendo puntos de interés sobre imágenes reales. Nivel 3: visión aumentada que se representa por dispositivos como las *google glass*, las *Facebook orión*, entre otras que permiten una experiencia inmersiva contextualizada.

Las realidades mixtas, se han introducido en la simulación clínica a ritmos vertiginosos de modo tal que los cambios en la didáctica han dado un giro de adaptación que permite un nivel de interacción cada vez más amplio en el proceso de enseñanza-aprendizaje a expensas del *e-Learning*.

Es por eso que las instituciones de educación superior han adaptado espacios académicos dedicados a la simulación clínica teniendo los diferentes de niveles de complejidad que incluyen la sensación propioceptiva en simuladores de última generación, permitiendo el uso de pantallas

táctiles y emuladores donde el estudiante puede interactuar y recibir información importante para el desarrollo de actividades específicas que derivan en la adquisición de competencias.

En su desarrollo la simulación clínica ha tenido avances en cuanto su fidelidad (Velasco Martin, 2013, pág. 12), en ese sentido se han de encontrar simuladores de baja fidelidad, los cuales son de baja complejidad tecnológica, no presentan parámetros fisiológicos y se requieren para el aprendizaje de técnicas básicas en salud (higienización, inyectología).

Los simuladores de mediana fidelidad que se emplean en canalización de venas o tomas de presión arterial son más realistas ya que presentan parámetros anatómicos y fisiológicos más realistas e incluyen el uso de software dedicado y ya empieza a contemplarse el *role-playing* en la toma de decisiones.

Para la simulación de alta fidelidad, se representan situaciones lo más cercanas a la realidad lo cual hace necesario un equipamiento de alta tecnología que incluye locación, software de alta complejidad que permita el cambio de parámetros fisiológicos, y un equipo multidisciplinario que aporte en la experiencia el trabajo colectivo desde los diferentes casos que se usen para la adquisición de determinadas competencias.

2.2.5. Lo comunicacional de la Imagen Biomédica:

Con el advenimiento de la imagenología médica diagnóstica, campo que aborda las diferentes modalidades de la visualización de cuerpo humano a través de empleo de fenómenos físicos, el enfoque de abordaje al paciente basado en la interpretación desde la semiología y aplicada a la atención del paciente, exhibe retos que van más allá de lo técnico y se presentan en la posturas de interpretación que han derivado en nuevos paradigmas los cuales implican desde lo

praxiológico un compromiso importante en el cotidiano, pretendiendo en sí mismo controlar el campo de las representaciones visuales con un discurso verbal (Mitchel, 2009, pág. 17)

El entendimiento de la imagen como elemento de comunicación, por lo menos para la imagen médica, se transforma y se adapta a las nuevas tendencias comunicativas, para ello se debe plantear el modelo comunicativo que permite aterrizar los conceptos básicos de lo que se pretende discernir.

La imagen solo existe para ser vista por un espectador históricamente definido, permitiendo extraer de ella la analogía entre lo real y su significancia (Amount, 1992, pág. 207) Se evidencia que para el profesional de ciencias de la salud la comunicación hace parte de convenciones, lo que plantea a través de su discurso el paciente el profesional de salud lo cataloga, convirtiendo este discurso en una representación técnica de datos los cuales finalmente se definirán a través de la mimesis radiológica que hacen parte del contexto narrativo entre las partes.

En el entendido de los colectivos (sociales, académicos, profesionales), la imagen se presenta más allá que un simple producto de la percepción personal (Belting, 2007, pág. 27), obedece a un conjunto de denominadores comunes que permiten la re-interpretación del mismo cuerpo a través de la imagenología médica. Dichas re-interpretaciones se ajustan a la necesidad de obtener un estándar de comunicación en la discursividad permitiendo generar discusiones cíclicas que sean conducentes a temas diagnósticos a través del pensamiento abductivo, eje central de este proyecto.

La mirada que se puede ofrecer del cuerpo humano externa e internamente, se basa tanto en el conocimiento como en el desconocimiento del mismo, se habla de la mirada del observador como sujeto y de esto dependen las múltiples interpretaciones que este pueda aportar desde sus

propias limitaciones socio-cognitivas en la construcción de conceptos en los diferentes entornos con los que él pueda relacionarse en su actividad cotidiana.

Uno de esos conceptos obedece a la imagen biomédica digital y su capacidad de mediar realidades en cualquier entorno y del cómo esta permite su relación con el diseño, tal cual como lo define Amount “el realismo no es sino la medida de relación entre la norma representativa en vigor y el sistema de representación efectivamente empleado en una imagen dada” (*Amount, 1992, pág. 220*) es por ello que el eje central del discurso se basa en la temporalidad de la relación imagen/cuerpo.

Desde el siglo XX el hombre se encuentra inmerso en la imagen (anterior estaba detrás de la imagen) superando posiblemente al lenguaje verbal, las imágenes que se construyen y desvelan a través de dispositivos convirtiendo la realidad en un vehículo de la memoria condicionando así la propia realidad y permitiendo que la imagen como objeto sea una imagen técnica (Gianneti, 2001, pág. 152), ejemplo de ello las redes sociales donde la deconstrucción de la imagen se constituye en la frágil contextualización y desmaterialización de la realidad mediada por la desverbalización de la representación.

Con la incursión de los entornos virtuales que superan el concepto de la imagen digital, el paradigma del esquema tradicional imagen-realidad sufre su propio giro pictórico (Mitchel, 2009, pág. 29) al no existir marcos definidos ni límites tangibles, sino escenarios interactivos abiertos generados a partir de procesamientos numéricos. De igual forma, los procesos de comunicación-recepción se transforman, porque en las nuevas interacciones predomina la interfaz que se convierte en el elemento de conexión entre la máquina y la persona.

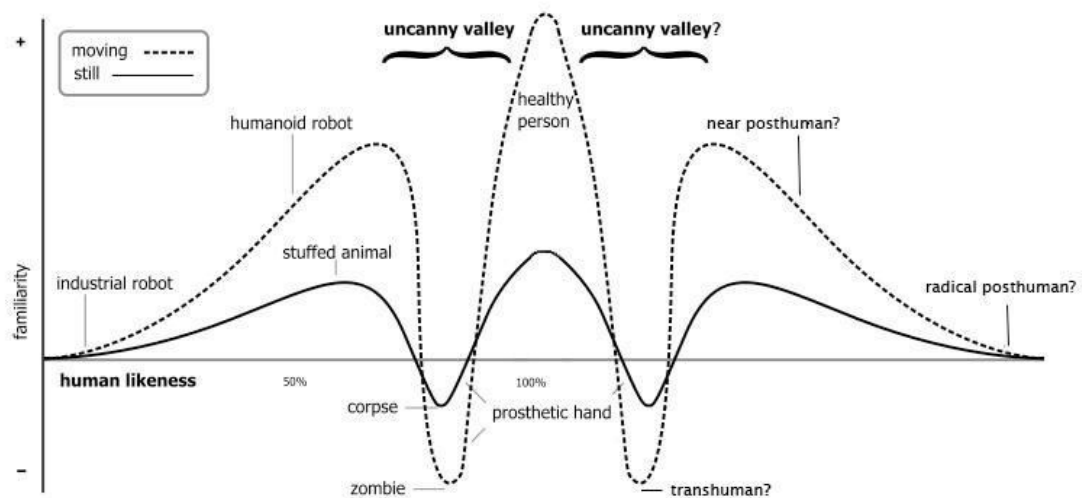
Como lo afirma Krippendorff (2007, pág. 8) las interfaces pueden ser concebidas como tal mientras cumplan con su objetivo y permitan el desarrollo de relaciones de cualquier índole. En el momento que surja una fractura o se desestabilice el sistema cognitivo del individuo que

ejecuta la interfaz debido a un desentendimiento del procedimiento o inexactitud de la misma pierde su carácter comunicativo y por ende su valor principal, en ese momento el artefacto deja de ser parte de la necesidad del colectivo y obliga a una nueva búsqueda que permita satisfacer las expectativas de los individuos con respecto a un tema ewetn particular.

Así la tecnolectalidad (Milluzo, 2015, pág. 168) se presenta en la medida que tanto experiencias tecnológicas como comunicacionales permitan generar un flujo de trabajo que apunten a la interpretación.

La estructura socio-tecnológica en la actualidad, genera respuestas emocionales cada vez más tangibles en la medida que las interfaces que se vienen desarrollando han adoptado desde lo estético y lo ergonómico rasgos humanos cada vez más certeros. En el año de (1970) Masahiro Mori, habla de estos elementos por primera vez en su artículo “*Uncanny Valley*”(figura 15.), en él, define el “valle misterioso” como la curva progresiva entre la respuesta emocional y el grado de humanidad que tenga su interlocutor.

Figura 15
El valle inquietante Masahiro Mori



Metafóricamente hablando para el asunto de este discurso, el valle misterioso es el acercamiento del estudiante de ciencias de la salud a los procesos de simulación, esto en consideración a los complejos procesos que implica para un ser humano el ser invadido por elementos ajenos a su ser o recreado de una manera “desnaturalizada” un espacio que se reconoce como propio.

En este sentido el terreno “vedado” del que habla Masahiro Mori (1970), es el espacio en el cual el médico debe integrarse y vencer la barrera empática. Convertirse en puente de transmisión de información, emociones y decisiones que realmente permita aprovechar todo el potencial que permiten las nuevas tecnologías. La aplicación de esta teoría de empatización y rechazo cibernético, hace eco en el concepto de la simulación clínica en términos de la artificialidad vs fidelidad del equipo, su dificultad se traduce en la adaptabilidad espacial y háptica del recurso que se pretende.

Lo humano es la interfaz y el software la interficie, en este sentido la interficie se convierte en un proceso indexado de información que, si bien alimenta el modelo de interacción cognitiva, se convierte en un puente de abordaje que termina de complementar el conocimiento para su posterior praxis. Lo que se menciona, expone un amplio concepto de artificialidad (Simon, 1996, pág. 18), ya que connota la similitud perceptible del entorno con diferencias esenciales que a expensas de los sistemas computacionales reconocen la simulación de manera asociativa-sincrónica que genera *feedback* permanente para la toma de decisiones .

La percepción entre lo real y lo virtual está descrito por el virtual continuum(Figura 16) y se define por la escala que se recorre entre lo real y lo virtual, descrita por Paul Milgram & Fumio Kishino (1994), su relación en un sentido permite describir el grado de inmersión en el

que se puede participar a través de las interfaces computarizadas, en su inverso, ésta se relaciona con lo real, su balance medio donde lo real y lo virtual se mezclan, se denomina realidad mixta y permea el contexto de la realidad aumentada y de la realidad virtual.

Figura 16
Modelo del Virtuality Continuum



Nota: Imagen interpretada

La RV se proyecta como un sistema de interacción en diferentes niveles de inmersión abarcando varias dimensiones sensoriales y es usado en diferentes áreas del conocimiento, la arquitectura, la ingeniería y las ciencias de la salud se benefician con el aporte significativo a la generación de experiencias inmersivas que apoyan el proceso de aprendizaje a expensas de su potencial interactivo.

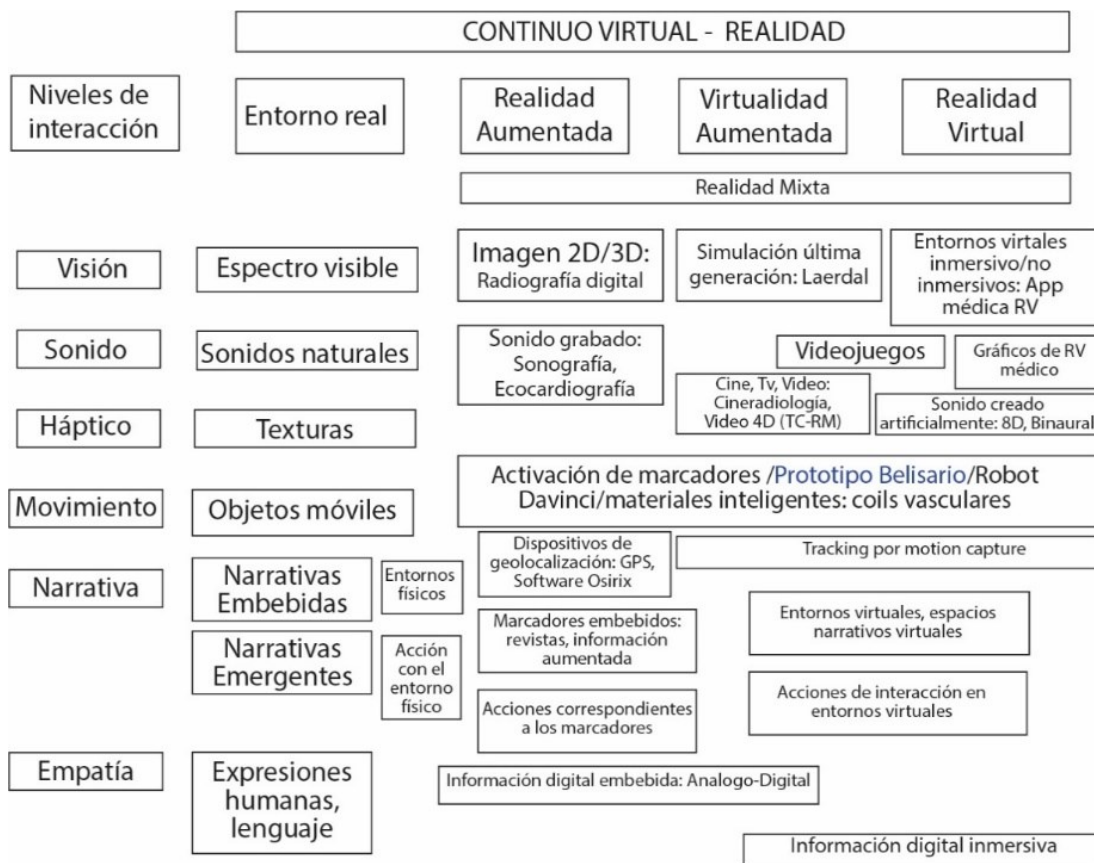
La figura 17 permite revisar que el virtual continuum se representa en los escenarios biomédicos de diversas maneras y su relación con la tecnología no es un mero fenómeno funcional, sino que posibilita metafóricamente la cualidad inmersiva que se otorga desde el mismo modelo.

El concepto de metáfora desde lo tecnológico se diluye para dar paso a la inmersión, entendiendo que la tecnología permite vincular desde el conocimiento la sintaxis necesaria para la

formulación de acciones participativas en entornos que se reconocen como virtuales dentro de la propia realidad.

Un ecocardiograma que es el estudio del corazón a través del ultrasonido, permite reconocer el sonido cardíaco desde un dispositivo, metafóricamente el corazón suena y desde la interfaz que es el transductor el usuario puede escucharlo, es decir tiene un momento inmersivo.

Figura 17
Clasificación de los niveles de inmersión del virtual continuum



Nota: Elaboración propia

La evolución de la Realidad virtual se extrapola a perspectivas de evolución que a la final se interrelacionan como parte de la experiencia: La perspectiva tecnicista se enfoca en la mejora en el rendimiento de los dispositivos (gráficos, fotogramas por segundo, compatibilidad de tarjetas gráfica). Por su parte la perspectiva conceptual se basa en lo que se puede entender por realidad virtual y que se espera de ella como tecnología aplicada. Finalmente la perspectiva de comunicación-interfaz-narrativa es la forma en la que se entiende la relación con los entornos virtuales y su estudio desde las ciencias de la información y la comunicación. (Rubio & Gertrudix, 2016)

En la actualidad el acto de la observación ha dejado de ser garante de la verdad de algún fenómeno (Hernandez, 2019), esto obedece a que la implementación de tecnologías lo ha convertido en acto maquínico y por ende algo difuso de empatizar si se generan discusiones en el imaginario colectivo.

Hoy por hoy ya se ha comprendido que el ser humano no ve a las interfaces como objetos mecánicos o herramientas simplemente, el individuo contemporáneo se apropia de sus propios desarrollos para expandir su mundo, los objetos dejan de serlo para convertirse en parte de una experiencia que le permite ser elementos de captación de información de su mundo, generando un proceso de cognición expandida que supera los límites de sus propias capacidades.

En la metáfora del transhumanismo del cuerpo, la mente se convierte en software y la experiencia ha de servir como la interfaz entre el hardware y el software, a este proceso se le conoce como “*wet ware*” (Contreras, 2016, pág. 168), que se entiende como la abstracción entre el hardware y el software. Esta definición se plantea a través de la crisis de la mencionada posmodernidad y planteó cambios fundamentales en la percepción del sujeto sobre su entorno, permitiéndole atribuir denominación humana y emocional a las herramientas.

Nativos e inmigrantes digitales, se enfrentan a dispositivos que emulan sensaciones hápticas cada vez más reales, ejemplo de ellos son las gafas Oculus Rift las cuales cuentan con un set de controladores hápticos permitiendo una experiencia inmersiva con mayor *feedback*, otro ejemplo valioso son los maniqués de última generación para la simulación clínica los cuales emulan al cuerpo humano en su fisiología al generar contenidos hápticos que permiten al estudiante sentir en su auscultación sensaciones específicas propias de alguna enfermedad que se desee analizar de manera simulada.

De acuerdo con Manovich (2005, pág. 113), el diseño y la creación con nuevos medios se puede reducir a dos enfoques: el primero, a la construcción de interfaces tomando en cuenta bases de datos multimedia (se refiere a las formas que surgen a partir de las bases de datos y su visualización en las interfaces), y el segundo, a la definición de métodos de navegación a través de representaciones especializadas (a las formas de los ambientes interactivos en 3D, utilizadas en aplicaciones como los videojuegos, la realidad virtual y las animaciones digitales, entre otras), con ello se pretende mejorar la interacción hombre-máquina versus interfaces que pueden representar ese tipo de estímulos que los médicos aquejan desconocer a través de los elementos cibernéticos actuales.

En su conjunto, los dos enfoques llevan a concluir que las aplicaciones digitales interactivas son más que objetos digitales, son síntesis de tradiciones culturales que hoy se observan en los diversos sistemas de navegación y son la necesidad natural del individuo por crear representaciones para entender su propia realidad. De esta manera, los dos enfoques pueden estar integrados dentro de un mismo objeto.

Cada experiencia inmersiva en sí, constituye un fenómeno de participación personal el cual es independiente del colectivo. Para intervenir en ello se dispone de interfaces mediadas por protocolos y por objetivos estructurados, que se han convertido en un proceso de trabajo

que permea la elementalidad, como lo sugiere Castells (1989) ya que se convierten en puentes con significado independientes de la práctica personal.

Estos puentes, superan en muchas ocasiones las expectativas que se tienen previstas frente al entorno en el que se desarrollan creando tejido social, y este se transforma a su vez con la evocación de la memoria que se trabaja a través de la reproducción de situaciones particulares aterrizadas de un contexto globalizado. Esta cualidad en la hermenéutica de Gadamer se basa en que se tienen unas vivencias que se guardan en la memoria, y se configuran estas vivencias para la comprensión del significado. (Gadamer, 1995, pág. 154)

Manovich (2001), también lo describe cuando hace la referencia de los principios estructurales de las interfaces y las aborda en la concepción del desarrollo estructural de las mismas que aportan a la experiencia dependiendo de la implicación tecnológica que esta tenga como objeto de trabajo.

Aunado a los elementos anteriores deben abordarse aspectos como los que Willemien Visser (2006) afirma al mencionar que en este sentido existe un juego permanente entre la forma en cómo el individuo se representa a sí mismo en su mirada interna y la forma en cómo se representa en el mundo.

Se inicia entonces una dinámica constante de generación de auto representación al conciliar ambas perspectivas como resultado de los elementos que van conformando el bagaje cognitivo del sujeto. Este proceso de interpretación personal involucra la semiosis colectiva como generador de los códigos comunes que van a definir los parámetros en los cuales navegarán los conceptos que se van a manejar para interpretar una situación.

Latour (1986) afirma que existen ciertos tipos de imágenes que tienen el poder y la habilidad de movilizar y manipular recursos a través del espacio y el tiempo. Un ejemplo de

imagen-instrumento son las imágenes en perspectivas (endoscopia, ultrasonografía, resonancia Magnética).

De acuerdo con Latour, las perspectivas establecen la relación recíproca y precisa entre los objetos y los signos. Es posible ir de los objetos a los signos en una representación bidimensional, pero también se puede ir desde los signos hasta los objetos tridimensionales (Reconstrucciones volumétricas), y esta relación recíproca lleva a los observadores, no sólo a representar una determinada realidad, sino también a controlarla. Las interfaces permiten modificar los procesos de comunicación-percepción, toda vez que en la interacción predomina a través de la relación Humano - máquina.

La inclusión de elementos multimediales se presenta como una necesidad de comunicación en las comunidades científicas que ven las posibilidades de ampliar el conocimiento a través de experiencias inmersivas. De hecho, al realizar el ejercicio literario se encuentran referencias bibliográficas que hablan de dispositivos con interfaces que permitían observar el cuerpo humano a través de los rayos X, de formas disímiles y cada una tuvo su repercusión científica y su significado en la búsqueda de visualización de patologías y enfermedades comunes hasta esa época indescifrables fisiológicamente.

Sin embargo, la red también ha tenido su impacto en el manejo del conocimiento, los bancos de imágenes son ahora más poderosos, accesibles y de forma gratuita en algunas ocasiones, permitiendo que metodologías de tipo *On line* se encuentren a la orden del día. Al manejar los recursos existentes en la red y en los softwares disponibles en el mercado (licenciados u open-source) la única limitante relativa es la capacidad creativa de procesar la información que a diario penetran las pantallas y el bombardeo ilimitado de recursos emergentes de utilidad relativa.

Aplica entonces la precisión de Pierre Levy (2007, pág. 50), la cual nos habla de un caos organizado acogido por el laberinto del conocimiento propioceptivo, toda vez que cada experiencia, en cada momento, genera un concepto personalizado, dirigido a un solo diagnóstico, conduciendo a un mismo resultado: “Traducir signos y síntomas”

El entendimiento de la imagen como elemento de comunicación, por lo menos para la imagen médica, se transforma y se adapta a las nuevas tendencias comunicativas hipermediales, teniendo en cuenta que éstas son el producto de desarrollos innovadores que se vienen aplicando en los diferentes escenarios desde lo audiovisual, la interactividad y la navegabilidad a través de los micro y macro entornos dirigidos a través de la misma Internet; Para ello, se debe plantear el modelo comunicativo que permite aterrizar los conceptos básicos de lo que se pretende discernir. Es importante entonces, comenzar a hablar de la semiótica en la imagen médica (semiología clínica).

El modelo tríadico de Pierce (1986) por su parte propone un signo, un objeto y finalmente un intérprete, el primero está mediado por la cualidad material, el segundo que representa el signo y el tercero que genera un concepto, imagen o idea; esta tricotomía establece tres elementos adicionales definidos en la primariedad que es la característica primaria del objeto, la segundidad propia de a quién se le atribuye y la terceridad que es la relación de la característica. Pierce considera al ícono (imagen) como un signo, ubicándolo en la categoría de primariedad en su triada y lo eleva a rango cognitivo ya que sus atributos guardan estricta relación con lo que representa.

Se ha mencionado a lo largo del documento que la forma de aprendizaje del cateterismo cardiológico parte de una curva lenta y de efectividad incierta, en un sentido estrictamente semiótico, la forma de representación de la imagen puede adoptarse no solo desde la realidad virtual sino de la forma de interpretar las imágenes a través de la percepción háptica, con esto la

correlación de un signo y su significado a nivel háptico permite al aprendiz a interpretar a nivel de metalenguaje de mejor manera el ícono.

Se plantea entonces que el aprendizaje se convierte en un acto de transmisión de conocimiento que para efectos de simulación se convierte en nuclear y se expande gracias al acto dialógico del *debriefing* (Dávila A. , 2015) pero que en últimas se media desde la percepción propioceptiva del usuario. Se ha de entender que estos escenarios de simulación no son una simple herramienta didáctica, desde la fenomenología propia del acto clínico, esta se convierte en acto cultural de gestión, transmisión, replicación y refinamiento comunicacional de un tipo específico de conocimiento con impactos enormes en la sociedad.

Si bien la percepción está mediada culturalmente por los órganos de sentidos de la visión y el oído, existe cierto rezago frente a la posibilidad de generar imágenes a través de la percepción háptica (Espinosa & Medellín, 2014), la cual permite la construcción de íconos mentales permitiendo la generación de experiencias en diversos campos.

Se entiende por imagen háptica aquellas representaciones que son resultado de las estructuras generadas como imágenes mentales, así las personas con discapacidad visual pueden realizar representaciones en alto-relieve de un objeto producto de la percepción táctil activa.

La percepción háptica se considera bidireccional en tanto una persona toca un objeto y puede

percibir información relativa. Es decir, cuando se toca con las manos un objeto, los receptores táctiles generan un conocimiento diferente al que se puede percibir a través de la visión, esto obedece a que el cerebro sintetiza la información aportando una imagen mental háptica que se forma gracias a los pequeños fragmentos de información de lo tocado para posterior generar una secuencia lógica a través de los movimientos exploratorios (Solano, 2015).

Como símil se puede pensar en equipos de escáner tridimensional que forman la imagen a través del movimiento del dispositivo como una secuencia lógica de hallazgos de la superficie.

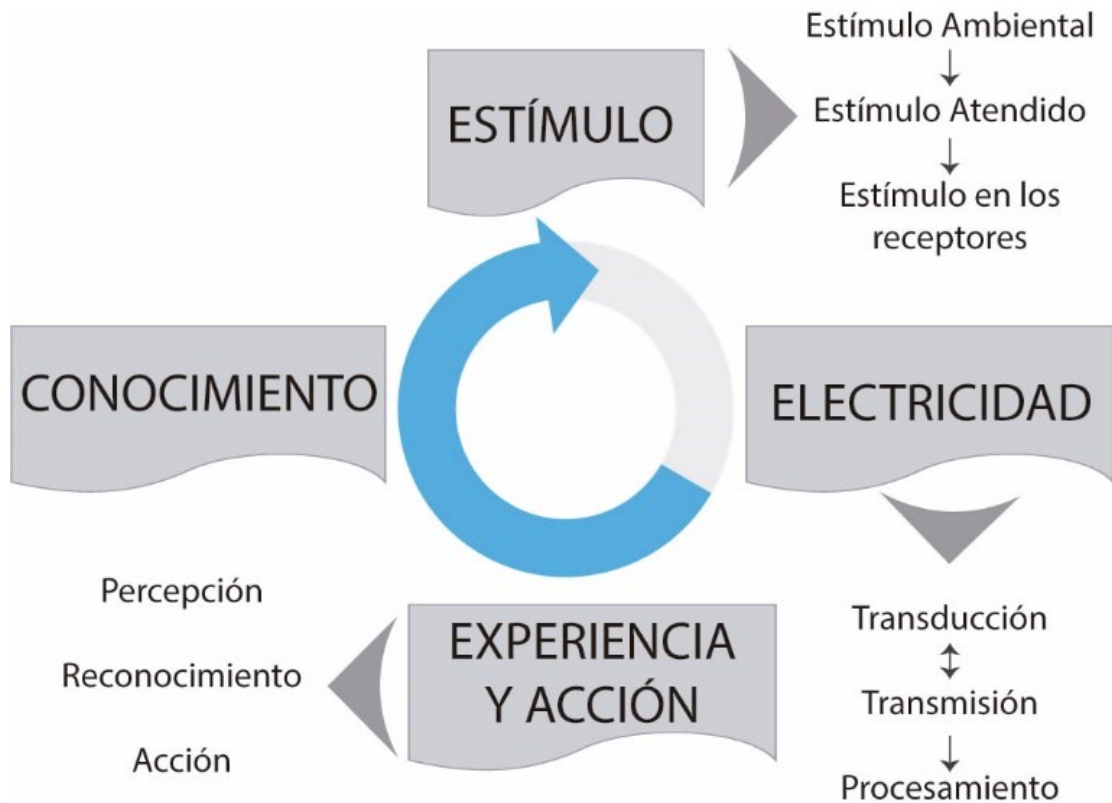
Para Roman Jakobson (1978) “no hay ni significado sin significante ni significante sin significado. El significado siempre le pertenece a algo que usamos como un signo”. En la cotidianidad se ha dado prelación a la exploración del mundo a través del ojo y el oído dejando relegado el sentido del tacto al considerar a los dos primeros altamente especializados en cuanto a la cognición se refiere. Para los autores Katz, Rávész y Gibson se puede distinguir entre percepción táctil, kinestésica y háptica (Ballesteros, 1993, pág. 313), la percepción táctil refiere a la información recibida exclusivamente desde lo cutáneo, en su lugar la percepción kinestésica es aportada a través de los músculos y tendones, finalmente la percepción háptica es la sumatoria de lo táctil y lo kinestésico que permiten información válida acerca del objeto estudiado.

Se debe agregar que los mecano-receptores cutáneos tienen estrecha relación con las diferentes clases de percepción, E. Bruce Goldstein en su libro *Sensación y Percepción* (2002, pág. 438) reconoce cuatro modalidades de percepción táctil: Percepción de detalle: Presente en la yema de los dedos son las zonas más sensibles. Percepción de vibración: Percibe los cambios rápidos de presión. Percepción de textura: Permite el reconocimiento de objetos relativamente grandes, implica en ella la vibración espacial y temporal que permite reconocer características particulares. Percepción de los objetos: Mantiene relación directa con el tacto activo en la medida que existe exploración intencional y constante de un objeto que permite la atribución de propiedades.

La secuencia de procesos fisiológicos (Figura 18.) que establecen el cómo se tiene una experiencia frente a los estímulos ambientales y se reacción ante ellos determinan al proceso perceptual que es dinámico y presenta cuatro etapas: estímulos (referidos al entorno) –

electricidad (guiada a través de las células aferentes y eferentes) – experiencia y acción – conocimiento.

Figura 18
Secuencia de procesos fisiológicos de Goldstein



Nota: Imagen propia

La dupla ojo-mano se convierte para el aprendizaje del cateterismo cardíaco (objeto de estudio) en un generador de percepciones cognitivas que derivan en la construcción de la imagen interpretativa, a través del aporte de la visión artificial mediada por la generación de imágenes en tiempo real del sistema y a su vez, de la construcción en paralelo de la imagen háptica que se

genera producto de la realización del procedimiento con los materiales especializados que se emplean.

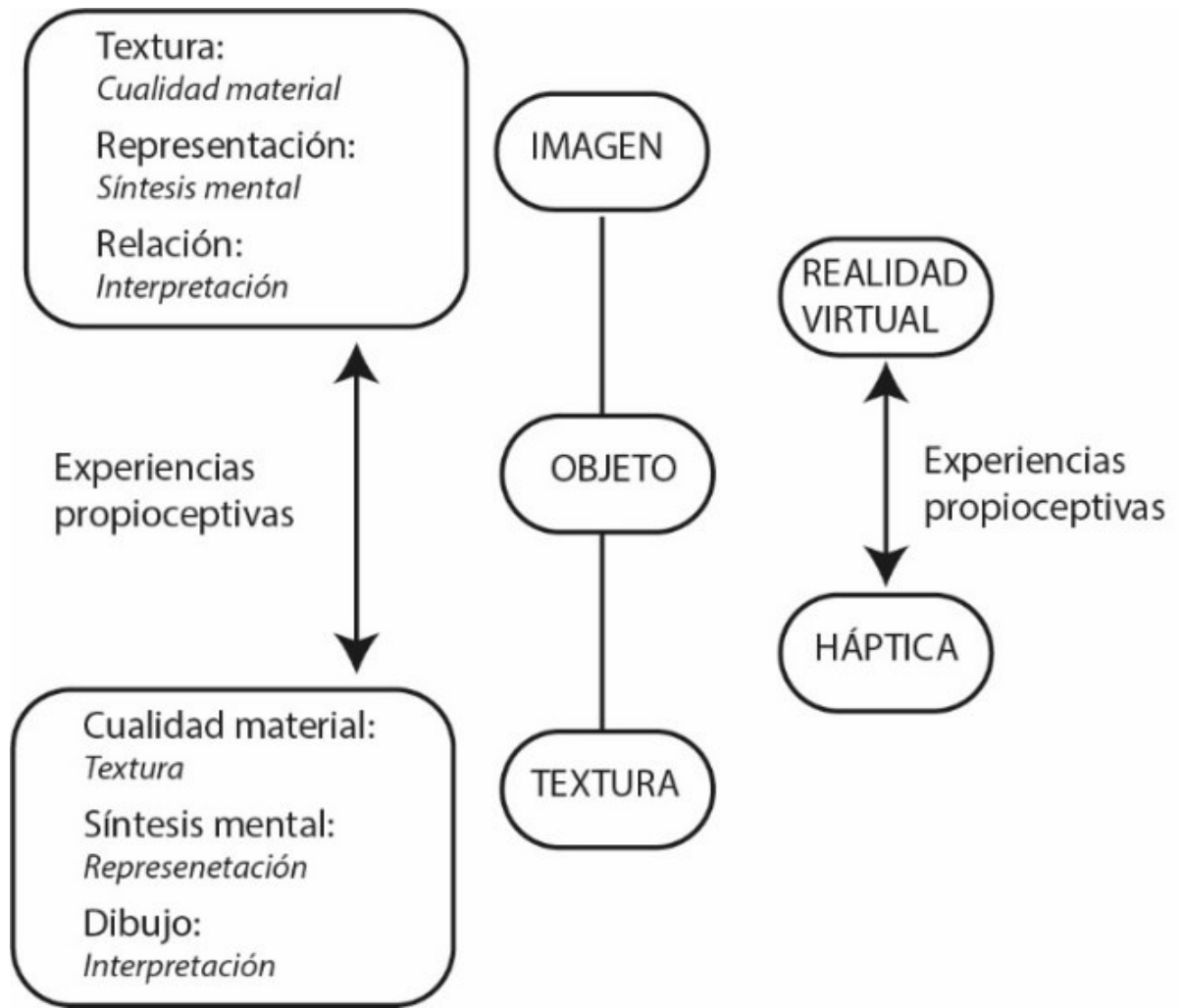
Jackobson reconoce que la imagen háptica parte del reconocimiento de las similitudes del objeto y del icono que lo representa en ese sentido, la posibilidad de contar con un sistema de realidad virtual háptico como herramienta de aprendizaje las percepciones visuales y hápticas permiten la transmisión en tiempo real de lo percibido siendo así la generación de conocimiento la posibilidad de disminuir la curva de aprendizaje con mayor eficacia que la educación tradicional.

La figura 16 contempla un modelo de relación visión-háptica donde los canales de emisión y recepción se introducen en las categorías de imagen y textura. La primera deriva en la generación de imágenes a través de la realidad virtual (dispositivos de visión artificial: HDM) y la segunda en tanto se recrea la anatomía cardíaca a través de los emuladores mecatrónicos contruidos para la experiencia.

El modelo planteado por Bruce Goldstein (figura 19) permite comprender de manera fisiológica el proceso perceptual que permite reconocer los niveles de complejidad de los problemas a los que un usuario puede enfrentarse en la cotidianidad y si se quiere pensar, a partir de su propia experiencia realizar las iteraciones necesarias para anticipar los problemas a los que puede enfrentarse.

Al llevar este sustrato informativo a la experiencia de la realidad virtual háptica en simulación de procedimientos de cateterismo cardíológico, se logra comprender el puente invisible que subyace entre la semiótica, la semiología médica, el tacto y la visión. Estos cuatro elementos en conjunción, se convierten de manera secuencial en una herramienta poderosa de percepción de las experiencias que pueden ser llevadas al ámbito profesional o cotidiano.

Figura 19
Cuadro Jakobson –Pierce modificado



Nota: Imagen propia

Para Joan Costa (1998, pág. 42) el término “gráfico” se emplea a modo de metáfora para convertir lo verbalizado en imágenes, si este concepto se fusiona con lo planteado por Jakobson respecto a la imagen háptica, el resultado triádico es un potente algoritmo de abstracción que será

usado para recomponer el rompecabezas de información ofrecido en el contexto relacional propioceptivo que permita la interpretación de la experiencia en particular.

Para la imagen biomédica este tipo de conceptos cobran mayor importancia ya que la imagen no es un solo elemento textual, sino que viene acompañado del elemento háptico dinamizando cada experiencia a modo de gaveta “memex” (Bush, 1945) que se construye y reconstruye con cada experiencia significativa del usuario.

2.2.6. Ingeniería-Diseño y Simulación

A lo largo del marco teórico se ha explicado el proceso de la simulación, niveles de profundidad, intervención de las Tics, tipos de realidades que intervienen en el mismo proceso, sin embargo el uso de este tipo de tecnologías hace necesario un equipo multidisciplinario que permita la generación de los escenarios que han de ser empleados y en ese sentido el diálogo de saberes implícita en su construcción recrea una especie de simbiosis que determina el éxito o el fracaso del esfuerzo inmersivo.

Precisamente la human computer interaction (HCI) hace su valioso aporte como eje organizador de los diferentes procesos que se deben tener en cuenta para el éxito del uso de tecnologías computarizadas aplicadas para el objeto de estudio las ciencias de la salud.

La HCI tiene varias definiciones al ser una disciplina multidisciplinaria en su origen, es por ello que entre otras puede definirse como “La disciplina dedicada al diseño, la evaluación y la implementación de sistemas informáticos interactivos para el uso humano; y al estudio de los fenómenos relacionados más significativos” (Heewet, y otros, 1992, pág. 5), otra posible definición trabajada por el equipo de Myers, Holland y Cruz (1996, pág. 794) es “El estudio de

cómo las personas diseñan, implementan y usan sistemas informáticos interactivos; y de cómo los ordenadores influyen en las personas, las organizaciones y la sociedad”

Todos los conceptos revisados contemplan la implementación y la evaluación de sistemas computacionales y cuál es su influencia en el comportamiento del individuo y de la sociedad como un ecosistema que hace uso de las herramientas tecnológicas, en ese sentido la clave se encuentra en la interacción y el condicionamiento de uso de modo tal que la experiencia resulte lo más satisfactoria posible.

Las investigaciones más recientes de la HCI centran sus esfuerzos en aspectos como la usabilidad y la accesibilidad. La usabilidad está definida según la norma ISO 9241-11 como “el grado en que un producto puede ser usado por determinados usuarios para lograr propósitos con eficiencia, eficacia y satisfacción en un contexto de uso específico”, se hace énfasis en que la evaluación de la usabilidad va dirigida a públicos muy limitados ya que se necesitan para procedimientos específicos que determinen el éxito de la tarea propuesta.

La usabilidad contempla cuatro dimensiones (Hassan & ortega, 2005):

- **Dimensión Empírica:** Al ser un concepto empírico, puede ser medida y evaluada por lo tanto no puede ser considerado como un concepto abstracto al contemplarse variables susceptibles de medición: facilidad de aprendizaje, eficiencia, cualidad de ser recordado, eficacia y satisfacción son aspectos que se evalúan a través de test de usuario.
- **Dimensión Dependiente:** Usabilidad vs utilidad, la primera ya se ha descrito y la segunda permite resolver las necesidades del usuario; ambos conceptos son simbióticos en la medida que el beneficio de uso justifique el esfuerzo para su uso.

- **Dimensión Relativa:** Lo construido no necesariamente sea usable para todos, en ese sentido existen audiencias específicas con objetivos específicos que determinan la satisfacción de ese nicho social particular.
- **Dimensión Ética:** El diseño de un producto debe apuntar a mejorar la calidad de vida de las personas, evitando discriminar y excluir evitando perjudicar al usuario.

Estas dimensiones se abordan desde dos perspectivas, la primera de ellas es la objetiva ya que permite medir cuatro aspectos: la facilidad del aprendizaje para realizar tareas básicas al enfrentarse al dispositivo por primera vez, la eficiencia en tiempo una vez han aprendido la realización de tareas, la cualidad de ser recordado cuando se deja de usar determinado tiempo y la eficacia que obedece a los errores, su tipología y gravedad. La segunda perspectiva es subjetiva y se decanta en la satisfacción que permite percibir qué tan agradable ha sido la tarea para el usuario.

Por su parte la accesibilidad se acuña en los años 90 como parte de la expansión de la web y su objetivo es la de asegurar el uso de modos más simple y tiene su enfoque a personas con discapacidad, de modo tal que abarque un amplio rango como el visual, auditivo, motor y cognitivo incluyendo aquellos que se dan en la edad adulta o de manera temporal (ISO/TS 16071, 2003).

La accesibilidad también se asocia a los entornos web y como beneficios que puede traer el correcto uso de esta se pueden describir la simplificación del sitio web al mejorar los recursos que se necesitan para su desarrollo, separación de contenidos y presentación que promueven la reutilización del recurso y disminuyen la carga de los servidores, indexación en buscadores ya que proporciona equivalentes textuales, independencia entre dispositivos e interoperabilidad a

expensas de la capacidad de configuración según lo desee el usuario, usabilidad aumentada que obedece a la facilidad de navegación, y finalmente aumenta el público objetivo al no ser excluyente (Afra, 2015, pág. 23)

Los conceptos de usabilidad y accesibilidad definidos en el contexto de la HCI, se anclan en los procesos de desarrollo de simulación clínica de alta fidelidad al reconocerse los principios denominadores y permitiendo la unificación multi e interdisciplinaria para la mejora constante de la aplicación de protocolos y respuestas acertadas a problemáticas comunes asociadas al sector salud.

Para el desarrollo de una simulación se deben contemplar las siguientes etapas que la bibliografía revisada se presenta con similitudes y que están planteadas en un sistema continuo ya que la variable cambia en el tiempo como lo plantea Banks (2009, pág. 35) el cual se adapta a procesos de salud, caso específico de la investigación desarrollada en la Universidad Jorge Tadeo Lozano con el prototipo de simulador para la enseñanza de la angiografía denominado “Belisario”⁴ que fue usado como herramienta de apoyo investigativo pero que no es el eje central de la investigación. Por considerarlo punto de anclaje al proyecto de investigación como segunda fase para su experimentación se hace relación del modelo usado para la implementación del sistema:

⁴ <https://www.utadeo.edu.co/es/noticia/destacadas/expeditio/264566/utadeo-obtiene-nueva-patente-por-simulador-para-la-ensenanza-de-angiografia>

Tabla 1

Modelo de implementación de sistema Belisario

Formulación del problema: (Objeto de la simulación)	Abordaje del cateterismo cardiológico a través de las realidades mixtas como proceso de simulación clínica
Definición del sistema (Frontera del sistema)	Prototipo alfa funcional con sensores de retroalimentación para análisis de tiempo y háptica del simulador
Formulación del modelo (Consideraciones del sistema)	Simulador con sistemas piezoeléctricos y sensores infrarrojos, cámaras de video para retroalimentación del procedimiento.
Colección de datos (Análisis de software y requerimientos)	Se llevó a cabo replica de modelo en sistema LINUX, realización de talleres de anatomía para emulación del sistema y sus variables
Implementación del modelo computacional:	Puesta en marcha del software Belisario
Verificación	Verificación de errores en el modelado
Diseño de experimentos	Definición de experiencias a realizar con usuarios de nivel bajo-intermedio y avanzado
Experimentación	Etapas de realización experiencial
Interpretación	Debriefing multi-disciplinario para análisis de variables operacionales
Implementación	Acompañamiento en las fases de experimentación para evitar daños innecesarios al sistema
Documentación	Documentación técnica de los procedimientos llevados a cabo como experiencias de simulación

Se ha mencionado reiterativamente al usuario como el destinatario final del desarrollo quien hace parte de la experiencia que para el caso de esta investigación es la simulación cardiológica. En consecuencia, la experiencia de usuario (UX) se convierte en el eje central del proceso y para ello se propone la siguiente definición: “Es la valoración subjetiva

/agradable/desagradable), intencional, interconectada y consciente resultado de la interacción usuario-producto, la cual ocurre en un contexto y tiempo determinados”.

Haciendo un desglose de conceptos, la experiencia de usuario se considera subjetiva al ser una experiencia personal lo que conlleva a la individualidad de la emocionalidad. De igual forma es intencional al existir metas y objetivos de interacción. Se considera interconectada toda vez que existe una relación entre las emociones, la cognición y la corporalidad (motricidad) del usuario. Se considera consciente de acuerdo con la atención vivencial que se genera en la interacción. También es emocional en el entendido de las respuestas agradables o no de la experiencia y finalmente es temporal y dinámica al existir experiencia acumulativa y la suma de ellas modifica la evolución del comportamiento (Ortiz, 2014, pág. 4).

La experiencia de usuario (UX) como se ha mencionado tiene una intención desde la funcional, para el caso de esta investigación, la experiencia se aborda desde la percepción háptica de los usuarios con el dispositivo y como este prototipo funcional permite la traducción de posibles taxonomías que se vuelven visibles a la luz de la construcción de escenarios simulados.

Hay que hacer una aclaración técnica, existen dos conceptos en la experiencia de usuario, el primero es la UX que es la abordada hasta ahora y que permite evaluar la experiencia a partir del dispositivo y el segundo concepto es la experiencia de usuario extendida (UxE) la cual se ocupa de las relaciones usuario-producto (Córdoba, 2013, pág. 66) y.

La experiencia de usuario extendida busca evaluar integralmente las sensaciones que tiene un usuario al interactuar con el sistema, esta integralidad es conocida como “concepto paraguas” toda vez que se integran diferentes disciplinas que aportan a la evaluación de la experiencia (profesionales implicados en el diseño de productos interactivos, ingeniería de la usabilidad, arquitectura de la información, diseño gráfico, diseño de interacción, diseño de información, etc.)

Entra en juego otro elemento que se ha vuelto un potenciador de experiencias y tiene que ver con la inteligencia artificial (IA) y se considera como un programa capaz de ser ejecutado de manera independiente de la máquina que lo ejecute, computador o cerebro (López, Montero, & Gonzalez, 2006, pág. 396).

La IA en lo que respecta a experiencia de usuario trata de explicar el funcionamiento mental basándose en algoritmos que permitan reconocer las preferencias del usuario en lo que respecta a interacción y aprovecha tecnologías como la *big data* para brindar experiencias ágiles y convenientes a las expectativas del usuario

La IA se puede dividir en tres grandes escenarios (Fernandez, Torres, Guaman, & Rodríguez, 2019, pág. 36): a) IA estrecha o débil que se limita a un área funcional, se encuentra sujeta a reglas impuestas las cuales no pueden ser sobrepasadas, ejemplo de este escenario son Siri y Cortana de las compañías tecnológicas Apple y Microsoft, ambas son capaces de sostener conversaciones racionales con personas reales ayudándose de grandes datos informativos al detectar patrones de uso permitiéndole hacer predicciones que le permiten el relacionamiento humano-máquina. b) IA general que comprende el poder del razonamiento abstracto, en este escenario las máquinas pueden realizar actividades intelectuales como los humanos, si bien hasta la fecha no se ha podido debido a la capacidad de los procesadores. c) La súper inteligencia que se presentará cuando la IA supere a la inteligencia humana, se le asocia a la inmortalidad como fenómeno de la deconstrucción de la sociedad.

En el campo médico la empresa Siemens Healthineers presentó en el marco el congreso anual de la Sociedad Radiológica de Norteamérica (RSNA) el prototipo “digital twin” que simula los órganos aprovechando los millones de datos obtenidos de las tomografías multicorte y resonancias magnéticas conformando redes neuronales. El primer órgano simulado fue un

corazón basado en algoritmos que simulan la fisiología cardíaca permitiendo la predicción de respuesta del órgano a tratamientos antes de realizarlos (Siemens, 2019)

El camino recorrido en la lectura del marco teórico, ha sido un encuentro de puentes que se tienden como posibles escenarios de exploración multidisciplinaria a través del diseño, no solo como un ejercicio técnico (como quizás sucede en la mayoría de los casos) sino como un proceso científico que se encuentra en la gestión y transmisión del conocimiento como una herramienta de exploración fenomenológica.

Es por ello que ha de reconocerse que los procesos cognitivos se extienden más allá de la mente y ocupan la corporalidad a través de su propiocepción.

La coexistencia del diseño en las ciencias de la salud debe apreciarse con mayor detenimiento, pues existen aportes significativos del diseño en la praxis médica que facilitan la atención de enfermedades y por ende mejorando la calidad de vida.

CAPÍTULO 3: METODOLOGÍA.

En el siguiente capítulo se realizará la descripción de los aspectos metodológicos de la presente investigación, para ello se llevará a cabo la presentación del diseño de la investigación, la población con la que se realizó la experiencia tanto háptica como de realidades mixtas, posteriormente se presentarán los instrumentos empleados y las categorías de análisis.

Acogiendo las líneas de investigación determinadas por la vicerrectoría de investigaciones de la Universidad de Caldas, se inscribe el proyecto en la línea denominada “Gestión y transmisión del conocimiento” perteneciente al grupo de investigación DICOVI.

Para dar respuesta al objetivo de la presente investigación, el enfoque abordado es de carácter cualitativo interpretativo de corte fenomenológico ya que se desarrolló a partir del análisis y observación de los procesos actitudinales, pertinencia y dinámicas de trabajo asociados al colectivo de participantes que se incluyeron para la experiencia háptica al realizar la práctica simulada de un cateterismo cardiológico y al grupo de usuarios que participaron de la experiencia de realidades mixtas.

La simulación cardiológica para esta investigación se revisa desde dos momentos, el primero es el momento háptico el cual se basa en la experiencia con el simulador cardiológico (Belisario) y el segundo pertenece a la experiencia con realidad virtual empleando la aplicación sharecare VR y las gafas de realidad virtual de la empresa *Oculus* (facebook, 2020).

Se debe mencionar que el presente proyecto de investigación se basa en la implementación de un prototipo de simulador de cateterismo cardíaco que posee dos componentes: El primero que se soporta en un sistema mecatrónico a través de un brazo el cual contiene las arterias de acceso al procedimiento (Colombia Patente nº NC2017/0007371, 2019).

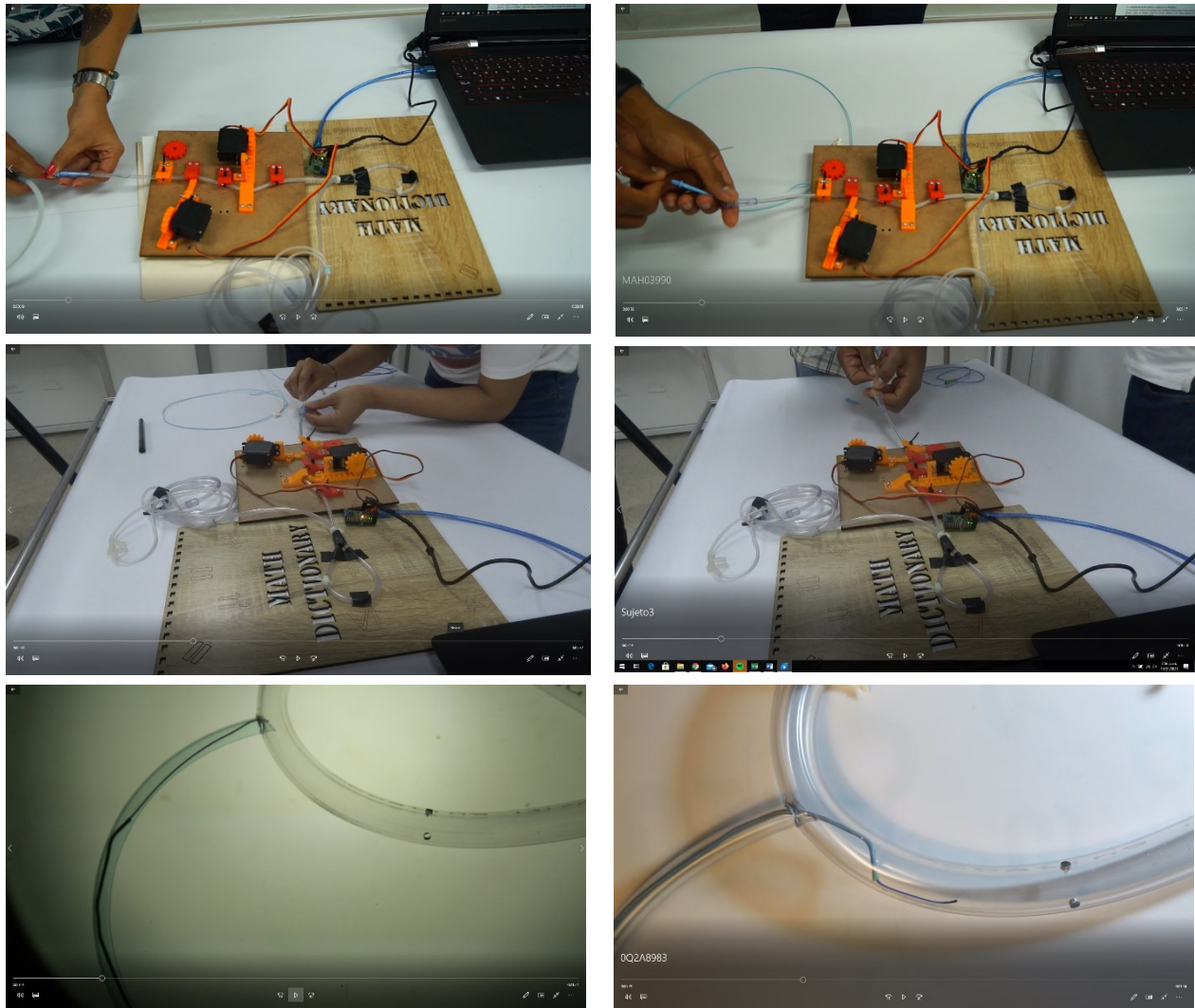
El simulador comprende un sistema de procesamiento de datos y un dispositivo háptico. El dispositivo háptico proporciona la interfaz física en la que se manipula un efector de extremo, que es representativo de un instrumento médico (por ejemplo, una aguja, catéter, etc.) con respecto a una base de dispositivo háptica para simular la inserción del instrumento. El sistema de procesamiento de datos, mediante el intercambio de señales con el dispositivo háptico, proporciona una simulación tridimensional que incluye las fuerzas resistivas que experimentaría un médico si el procedimiento simulado fuera un procedimiento real que se realiza sobre una anatomía real (por ejemplo, Brazo humano, etc.).

Para la realización de la experiencia los participantes primero firmaron el consentimiento informado correspondiente a la participación del ejercicio y posterior a ello se les dio las

instrucciones necesarias que correspondían a seguir el protocolo de trabajo en un procedimiento de angiografía coronaria. Esta consistió en hacer la introducción de la guía de paso de catéter, después el catéter y durante el procedimiento reconocer los diferentes niveles de obstrucción que se iban presentando a lo largo del recorrido de la arteria.

Las obstrucciones se ejecutaban vía remota a través del dispositivo “Belisario” (imagen 20.) y la función de esta era analizar la respuesta senso-perceptiva que tenían los participantes y de igual forma comparar la experiencia con el dispositivo Belisario y la experiencia profesional que cada uno tenía en procedimientos de intervencionismo angiográfico.

Figura 20
Experiencia de usuario con dispositivo Belisario



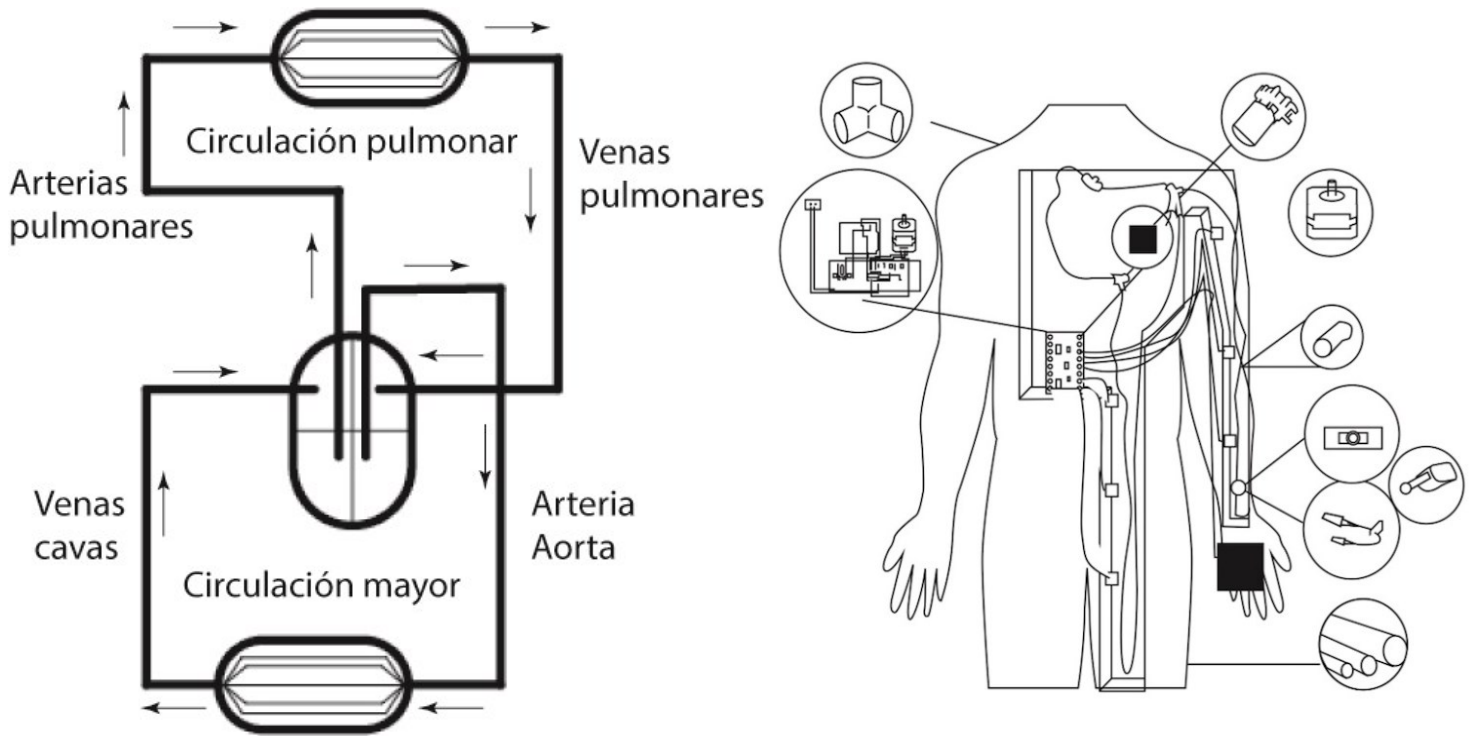
Nota: Fuente propia

La relevancia de este simulador es su carácter háptico y la capacidad de recrear diferentes escenarios con los que se puede encontrar un profesional de salud en su praxis médica. Esto se logra gracias al uso de servomotores que limitan el diámetro de la arteria recreando los diferentes niveles de obstrucción arterial (Estenosis, obstrucción y oclusión) que producen finalmente el infarto agudo de miocardio (Vela, 2020, pág. 5).

De igual forma se recurrió a la literatura médica para comprender los protocolos de abordaje vascular que se tienen con el cateterismo cardiológico de modo tal que se pudieran comprender los algoritmos de trabajo bajo los cuales puede realizar exitosamente este tipo de procedimientos invasivos.

En la siguiente gráfica (Figura 21.) se describe la circulación corporal que se tomó como referencia para la implementación del dispositivo. Este tipo de referencias anatómicas permitió comprender cuál sería el protocolo de abordaje en los diferentes escenarios propuestos para la experiencia háptica

Figura 21
Circuito circulatorio y sistema modelo Belisario



Nota: Fuente propia

Y el segundo componente, una aplicación de realidad aumentada desarrollada en Unity que brinda la información visual de la anatomía y del procedimiento de cateterismo cardiológico, para ello se emplearon las gafas de realidad virtual Oculus rift (2020) y el software Sharecare VR que ofrece contenido educacional a través de simulaciones de anatomía, fisiología y semiología.

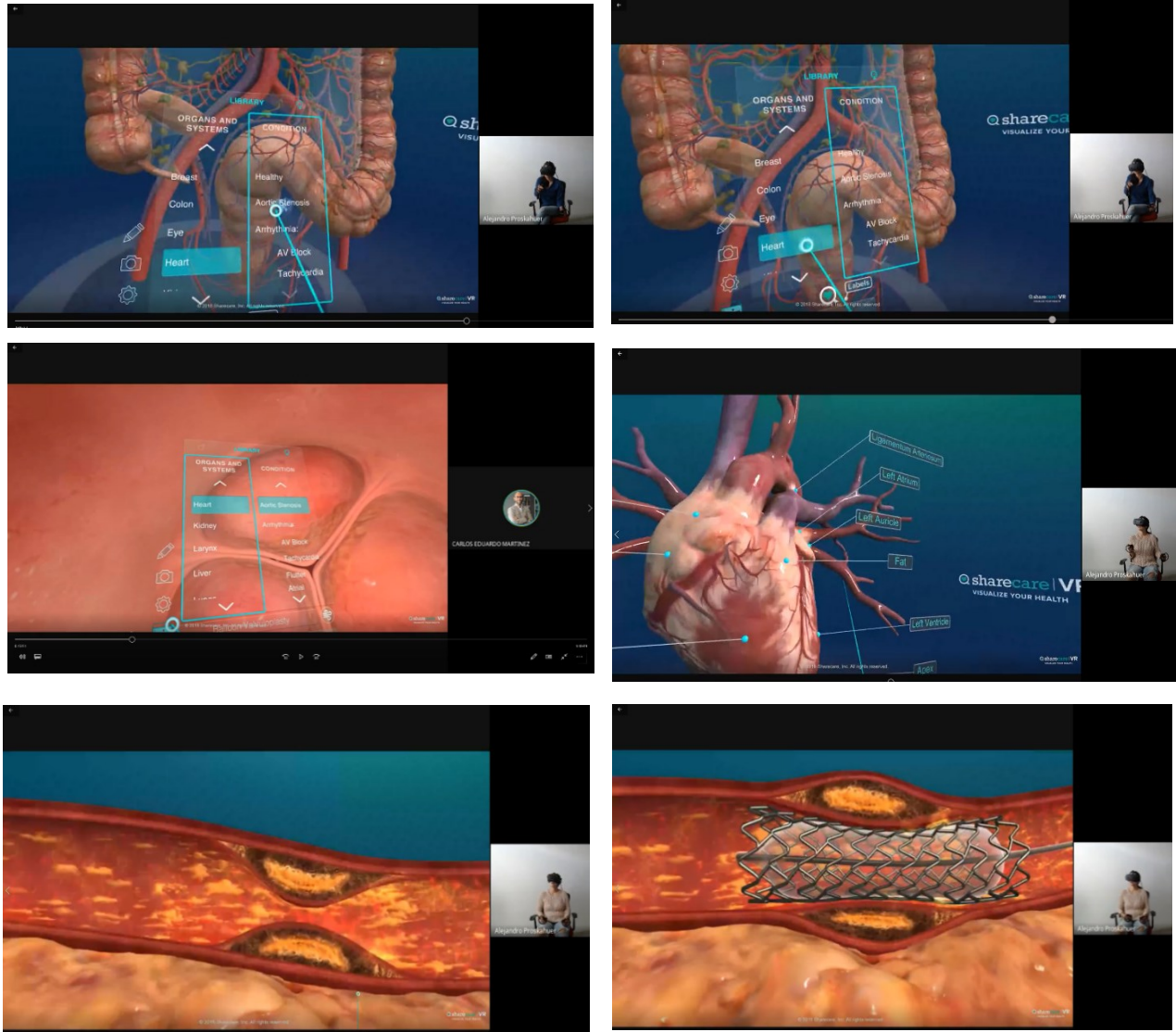
En este software se puede explorar en el cuerpo humano de manera 3D y 4D de manera inmersiva, así mismo se pueden explorar los contextos fisiológicos de cada órgano permitiendo comprender como funciona interactuando a través de variables como el organismo se adapta a ciertas condiciones .

Así mismo software ShareCare VR presenta patologías asociadas y algunos procedimientos de quirúrgicos y de intervencionismo que para el caso de interés del proyecto es la enfermedad coronaria. En esta segunda parte de la experiencia se buscaba identificar los conceptos de la imagen biomédica vista desde la realidad virtual, que en su consideración era una experiencia novedosa.

Los usuarios realizaron el circuito completo de experiencia que proveen las gafas Oculus rift, este incluye un entrenamiento de comandos básicos que permiten que la experiencia no tenga dificultades en lo que respecta a la interacción con las “etiquetas” y descriptores que tiene el software. Posterior se hizo el ingreso al software SharecareVR y se les pidió a los usuarios que fueran explorando las diferentes interfaces con las que cuenta el software, es así que tenían la libertad de explorar inicialmente cualquier órgano a modo de experiencia primaria (Figura 22.).

Por último, en determinado momento de saturación se les guiaba a que revisaran el sistema circulatorio y en especial el corazón con las diferentes interfaces contenidas para revisar la anatomía, la fisiología y la semiología cardiológica así como el procedimiento de cateterismo angiográfico que presenta el software. después de todo el proceso de experiencia que tenía como duración 30 minutos se usaban las preguntas contenidas en el instrumento de la investigación.

Figura 22
Experiencia de Realidad virtual con gafas Oculus Rift



Nota: Fuente propia

Se ha de entender que el simulador desarrollado no es el producto de la experiencia, en ese sentido el simulador proporcionó la experiencia de la realidad virtual háptica quien permitió

establecer las experiencias frente a la realización de procedimientos de intervencionismo cardiológico.

Como se ha expresado, el enfoque de la investigación es cualitativo (McMillan & Schumacher, 2005, pág. 400) en tanto que describe y analiza las conductas sociales colectivas e individuales, las opiniones, los pensamientos y las percepciones, en otras palabras el enfoque cualitativo de esta investigación permitió indagar por la respuesta senso-perceptiva de la población objeto de estudio que intervienen en el aprendizaje a través de la realidad virtual háptica en la simulación de la imagen biomédica cardiológica.

El interés de este proyecto no es cuantificar si no que, a través de los métodos en los que se privilegia la subjetividad y la narrativa de las experiencias, se permita identificar los atributos no verbalizados por el sujeto a través de una entrevista a profundidad.

La investigación cualitativa se debe soportar bajo un diseño flexible (Taylor & Bogdan, 2000, pág. 7) que permita el desarrollo simultaneo de las diferentes etapas de la investigación y que en su consideración pueda hacer retrocesos adaptativos según los hallazgos los cuales por su naturaleza exploratoria no deben ser excluyentes.

Se considera de corte interpretativo fenomenológico, en tal sentido se realizó el análisis y evaluación de las experiencias vividas frente a la curva aprendizaje en dos escenarios: El primer escenario es la experiencia háptica que se genera de la realización de la práctica simulada de un procedimiento de cateterismo cardiológico por medio de un sistema mecatrónico. Dicha evaluación se realizó a expensas de sensores que permiten medir el grado de presión ejercido en puntos estratégicos del recorrido arterial logrando emular una placa ateromatosa y así evaluar el grado de sensibilidad háptica desarrollada para realizar correctamente el procedimiento vascular. El segundo escenario es la experiencia de las realidades mixtas, para ello se trabajaron dos tipos de tecnología inmersiva permitiendo a los participantes explorar aplicaciones orientadas a la

enseñanza de la anatomía cardiológica y de la patología que afecta a este órgano, logrando así comprender cómo este tipo de herramientas aportan desde la didáctica a comprender mejor el tipo de procedimientos terapéuticos que se llevan cabo para resolver situaciones potencialmente mortales para los pacientes.

3.1. Muestra

Debido al alcance de la presente investigación la muestra será de tipo no probabilística con expertos, dado que este tipo de diseño metodológico tiene un carácter intencional. Al respecto (Penalva, Alaminos, Frances, & Santacreu, 2015, pág. 32) se considera intencional ya que el investigador selecciona los casos que son más representativos, en el sentido de que tienen más capacidad de proporcionar la información más grande y más rica para los objetivos de la investigación.

Para las experiencias también presentan los dos escenarios anteriormente mencionados:

a) Para la experiencia háptica se eligió a tres profesionales de ciencias de la salud con diferentes niveles de conocimiento en la realización de procedimientos de intervencionismo cardiológico, para ellos se consideran las categorías:

- Experto: Profesional en imagenología con experiencia de más de 10 años en la realización de procedimientos en Hemodinamia y que conoce las dinámicas propias del trabajo, pero que así mismo tiene la memoria háptica del paso del catéter y la guía por las arterias del corazón y tiene las competencias de reconocer los diferentes estadios de obstrucción arterial que derivan en un infarto agudo al miocardio (IAM).

- Media: Profesional en imagenología con una práctica esporádica de procedimientos angiográficos a lo largo de su trayectoria laboral, pero que no cuenta con la cualificación necesaria para participar en grupos de trabajo en intervencionismo cardiológico. El profesional cuenta con los conocimientos necesarios para reconocer los diferentes estadios de obstrucción arterial que derivan en un infarto agudo al miocardio (IAM) que se pueden diagnosticar a través de otros métodos diagnósticos imagenológicos como el angiotac coronario
- Bajo: Profesional en imagenología que nunca ha realizado procedimientos de intervencionismo angiográfico, pero que cuenta con el conocimiento teórico suficiente que le permite reconocer los diferentes estadios de obstrucción arterial que derivan en un infarto agudo al miocardio (IAM)

b) Para la experiencia de realidades mixtas se obtuvieron experiencias de 5 participantes divididos en dos grupos.

- El primer grupo permitió indagar las experiencias de usuario desde el abordaje técnico para ello la muestra estuvo compuesta por un profesional en diseño, con experiencia avanzada en el desarrollo de aplicaciones médicas y experiencias inmersivas y líder en el área de realidades extendidas en una institución de educación superior de la región, de igual forma un profesional en entrenamiento deportivo con experiencia en video juegos.
- El segundo grupo estuvo compuesto por el grupo de profesionales en salud que participaron de la experiencia háptica desarrollada en el momento uno del proceso investigativo. El sesgo de disponibilidad intencional, obedece a que dada la experiencia en procedimientos de intervencionismo en sus diferentes niveles y a su poca o nula experiencia en video juegos se consideró que el aporte que podría brindar respecto a la inmersión por primera vez en la realidad virtual aportaría información valiosa y por lo tanto las reflexiones respecto al conocimiento en el

manejo de los dispositivos de realidad virtual y hápticos para el aprendizaje del cateterismo cardiológico serían a su vez enriquecedoras.

3.2. Instrumentos y técnicas de recolección.

Como se ha mencionado la experiencia se produjo en dos momentos, para el primer momento que hace referencia a la experiencia háptica con el prototipo de simulador Belisario, para ello se realizó una entrevista semiestructurada abierta a los tres participantes partiendo del resultado de la literatura y de los protocolos establecidos para los procedimientos angiográficos, por lo tanto la experiencia de los usuarios según las competencias que tuvieran en la realización de procedimientos angiográficos permitieron obtener la percepción de cada uno de ellos respecto al uso del simulador.

Referente a la experiencia de realidades mixtas, se realizó entrevista estructurada y semiestructurada a los participantes. Para ello se dio uso a una guía de entrevista (Anexo 1), la cual se construyó a partir de la literatura, revisión de expertos y se permitió la inclusión de preguntas emergentes en el proceso de trabajo de campo. La realización de entrevista permitió resolver la propuesta de los objetivos específicos establecidos en la investigación de modo tal que en el diálogo se logró la saturación de información correspondiente entre los hallazgos producto de la vivencia y su correlación experiencial como profesionales.

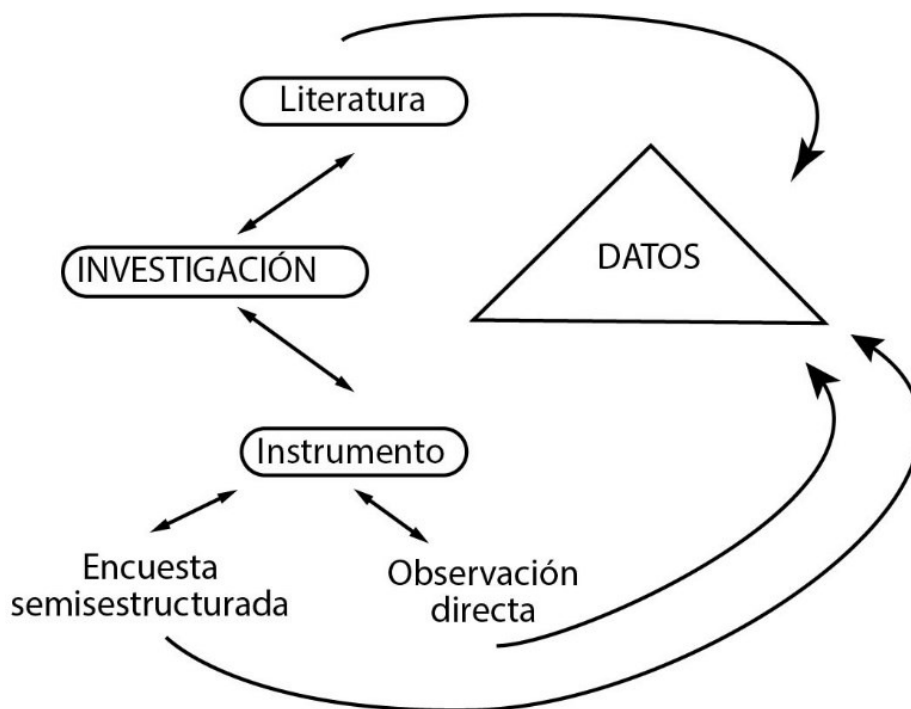
3.3. Triangulación metodológica.

La triangulación metodológica (Figura 23.) se define como la aplicación y combinación de varias metodologías (cualitativas y/o cuantitativas), fuentes de datos, teorías, de investigadores

o de ambientes en el estudio de un mismo fenómeno (Okuda & Gómez, 2005, pág. 119). Como tal es un procedimiento heurístico que tiene como objetivo documentar y contrastar información, en ese sentido garantiza la validez del estudio al darle riqueza a las conclusiones y por ende una mayor confiabilidad.

Para el caso de la presente investigación, se empleó la tipología de triangulación de datos obtenidos de la experiencia háptica y de la experiencia de la realidad virtual por parte de los participantes que fueron soportados desde la observación directa, la entrevista semiestructurada y que fueron contrastados con la literatura revisada a lo largo de la construcción del marco teórico.

Figura 23
Triangulación metodológica



Nota: Imagen propia

3.4. Definición de Categorías:

Las categorías establecidas en la presente investigación fueron definidas como el producto de dividir el planteamiento del problema en elementos que aportaron significativamente a la construcción del marco teórico, así como de los antecedentes investigativos. Una vez establecidas las categorías se permitió el constructo de las subcategorías que engrosan las preguntas presentes en las entrevistas estructuradas y dan pie a la entrevista semiestructurada con enfoque abierto.

Relacionado a esto, se presenta la revisión literaria respondiendo a la temática interés del proyecto de investigación, para ello la delimitación de terminología en ciencias de la salud, particularmente a la especialidad del intervencionismo cardiológico y la simulación clínica, fueron determinantes para el desarrollo del discurso y los hallazgos propios de lo háptico y lo comunicacional como puente de trabajo frente al diseño.

Paralela a la temática escogida se hizo necesario realizar la revisión bibliográfica de las realidades mixtas y su implicación en el desarrollo de la investigación que permitieron entender los procesos actitudinales que enfrenta el usuario al realizar prácticas inmersivas con dispositivos de realidad virtual.

Para el proceso de investigación se determinaron una serie de etapas que se encadenaron de manera evolutiva a través del desarrollo metodológico. Inicialmente se planteó una etapa de definición de conceptos en la que se determinarán las categorías de análisis pertenecientes a lo actitudinal y senso-perceptivo desde lo háptico.

Para ello y como se ha mencionado se dió uso al prototipo alfa de simulador angiográfico de cateterismo cardiológico. En ese sentido se preparó el sistema con los tres posibles escenarios a los que un especialista en intervencionismo puede enfrentarse: Estenosis, oclusión y

obstrucción, patologías propias de sistema cardiovascular que conllevan al infarto agudo de miocardio.

Una vez preparado el sistema en conjunto con el instrumental necesario para el abordaje se le dió las instrucciones al participante de realizar el procedimiento solicitando que explicara detalladamente las sensaciones hápticas encontradas durante la experiencia.

El grado de dificultad de la experiencia permitió comprender la forma de abordaje y toma de decisiones que se le daban a cada situación en particular por parte de cada participante. Se reitera que la intención primaria de la experiencia fue la de comprender cómo la imagen háptica apoyada en el constructo teórico que aporta la semiología médica, la patología y la anatomía se hibridaban para la obtención de respuestas positivas de refuerzo cognitivo dando pie en paralelo a la comprensión por parte de los investigadores a posibles mejoras al prototipo alfa de simulación.

En el segundo punto de la metodología se implementó el uso de un sistema de visión artificial que terminó decantándose en las gafas *oculus rift* y la aplicación Sharecare VR exclusiva para la plataforma *oculus*. Esta aplicación cuenta con un modelo anatómicamente correcto tridimensional que permite su exploración por los diferentes órganos corporales comprendiendo así la anatomía y las enfermedades asociadas a ese segmento corporal.

Para el propósito de la investigación, se realizaron pruebas con los diferentes sistemas disponibles en el mercado: Una experiencia con las gafas *Gear Vr* de Samsung, experiencia con gafas VR *box*, intentando recopilar el nivel de experiencia inmersiva requerida para lograr la saturación de información correspondiente entre la experiencia y el conocimiento derivado de la misma.

Una vez recolectada la información a partir de las dos experiencias anteriormente mencionadas, se realiza la transcripción de las entrevistas a manera de material seleccionando los comentarios, las expresiones y las citas relevantes en las experiencias que permitieran evaluar la

experiencia de la realidad virtual háptica en la simulación de procedimientos de intervencionismo cardiológico y que daban respuesta a los objetivos específicos planteados en la investigación.

Esta información fue llevada a la herramienta Atlas.ti versión 7.0,

el cual es un software para el análisis cualitativo de datos (QDA) que permite incorporar datos de manera secuencial, en esa medida permite que de ser necesario se puedan ampliar o direccionar los hallazgos para saturar la información obtenida permitiendo la construcción de resultados sólidos.

CAPÍTULO 4: RESULTADOS

4.1. Consideraciones generales

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos de las experiencias inmersivas y hápticas que permiten dar respuesta a la pregunta de la investigación escenario ¿Qué nivel de incidencia tienen la experiencia de aprendizaje de la imagen háptica, los dispositivos de realidades aumentada y realidad virtual desarrollados a través del diseño y la ingeniería para su apropiación en áreas como el cateterismo cardiológico en escenarios de simulación clínica?

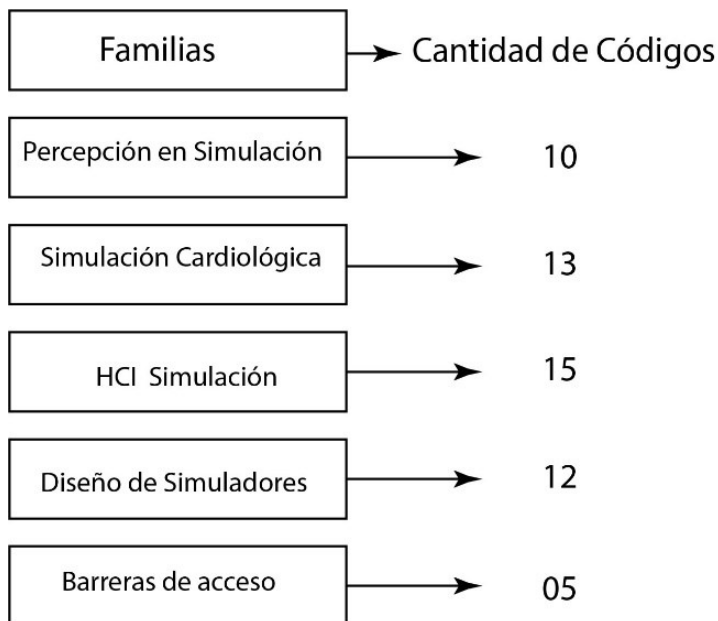
Para ello se llevará a cabo la descripción de los resultados obtenidos presentándose en la red semántica producto del trabajo en el software Atlas.Ti.

En la primera fase se realizó transcripción escrita de los videos correspondientes a las experiencias hápticas y de realidad virtual, asignando códigos producto de las conversaciones de

los participantes que se encuentran de igual forma en el corpus de la investigación, realizando un proceso inductivo-deductivo (Dávila G. , 2006, pág. 184).

En lo que respecta a la codificación, se realizó la introducción de datos en el software Atlas.Ti donde se resaltaron 34 códigos⁵ que posterior fueron agrupados a 26 entendiendo que en la revisión secundaria había grandes similitudes y concordancias que podían permitir esta licencia. Estas fusiones reconocieron los conceptos de los participantes desde su propia experiencia. Posterior a ello se crearon las 5 familias⁶ (Figura 24.) que dan respuesta a los objetivos específicos planteados en la investigación, ellas son: Barreras de acceso, Diseño de simuladores, Percepción en simulación, HCI simulación y Simulación cardiológica.

Figura 24
Elaboración de familias



Nota: Imagen propia

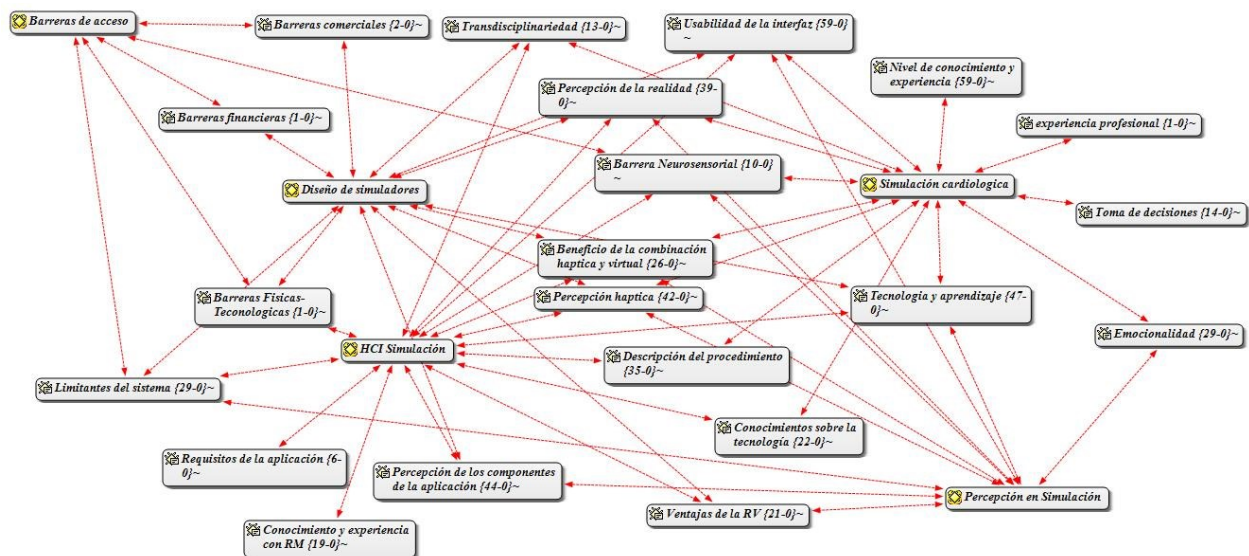
⁵ Los Códigos son la expresión descriptiva del fenómeno que se estudia

⁶ Las familias son categorías de códigos que expresan un nivel conceptual del fenómeno en estudio

A partir de estos códigos se creó una red semántica⁷ (Figura 25.) de conexión de los elementos clave de las entrevistas que como se mencionó aportaron los participantes. El concepto de red semántica fue desarrollado por M. Ross Quillian (1966), para explicar cómo se organiza el significado de las palabras en la memoria individual para generar una simulación computacional. Las redes se emplean como un instrumento de representación gráfica que permite relacionar palabras dentro una temática específica y se basan en la coincidencia de los términos implícitos usados por los participantes de la investigación.

Se precederá a hacer una descripción de las cinco familias semánticas encontradas en la investigación y a partir de ellas se presentarán los resultados interpretativos de la misma.

Figura 25
Red semántica



Nota: Imagen propia

⁷ Redes gráficas que permiten la relación entre los códigos y las categorías

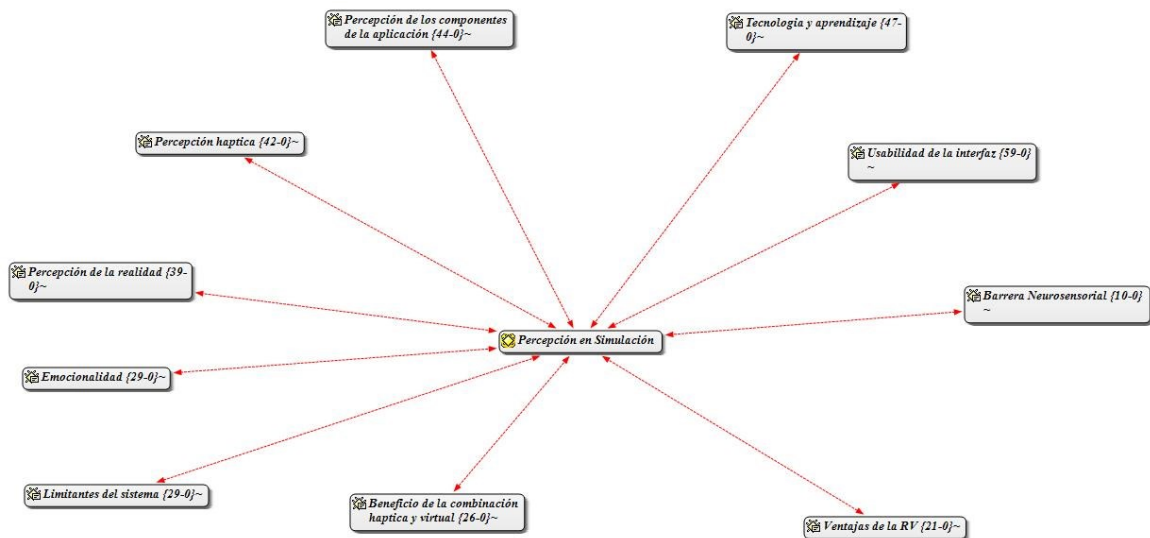
4.1.1. Red Percepción en Simulación

La familia percepción en simulación (Figura 26.) tiene como definición el grado de aceptación o rechazo de prácticas guiadas en el laboratorio, dicha percepción se basa en elementos cómo la percepción de la realidad y como estos permiten recrear situaciones particulares que determinan la capacidad de analizar situaciones complejas y favorece la toma de decisiones por parte del equipo biomédico.

En lo que respecta a competencias blandas, la capacidad de comunicación se ve beneficiada impulsando el liderazgo y el trabajo en equipo.

La red percepción en simulación hace referencia a los siguientes códigos descriptivos:

Figura 26
Red Percepción en Simulación



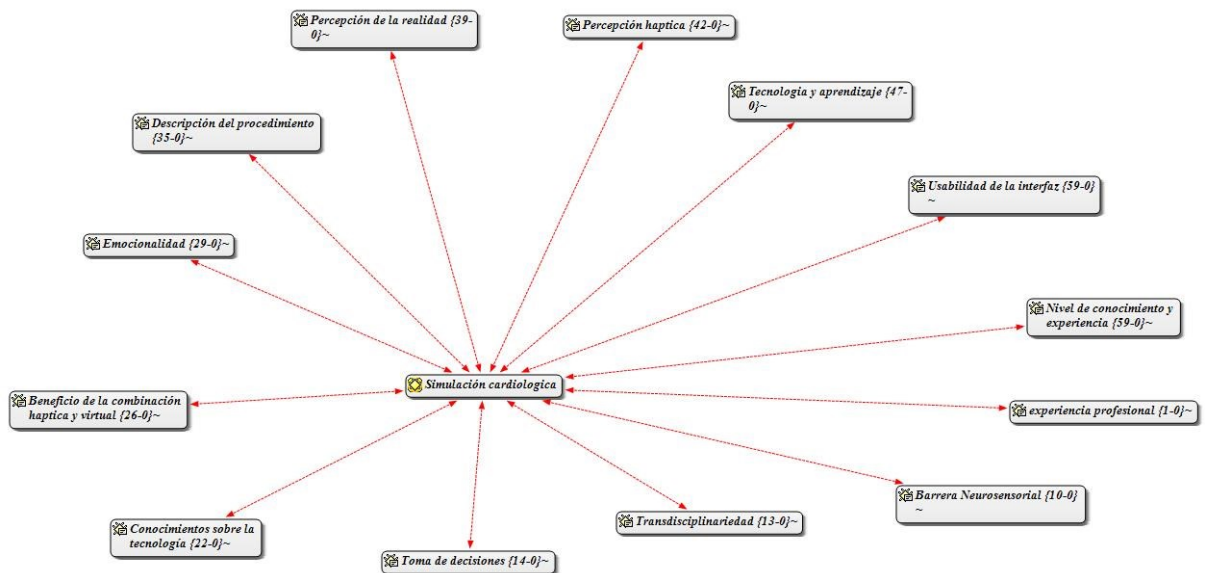
Nota: Imagen propia

4.1.2. Red Simulación Cardiológica

La familia red de simulación cardiológica (Figura 27.), Se define como proceso de enseñanza de procedimientos cardiológicos en laboratorio. Dado el alcance y la complejidad de los procedimientos se hace necesario contar con simuladores de última generación que permitan transmitir al usuario el realismo necesario de modo tal que la experiencia sea lo más cercana a la realidad en términos de operacionalización y puesta en práctica el concepto teórico dado desde los diferentes formatos de aprendizaje. En ese sentido la simulación cardiológica se convierte en una herramienta didáctica poderosa que eleva el nivel de conocimiento del equipo biomédico.

La red Simulación Cardiológica hace referencia a los siguientes códigos descriptivos:

Figura 27
Red Simulación Cardiológica



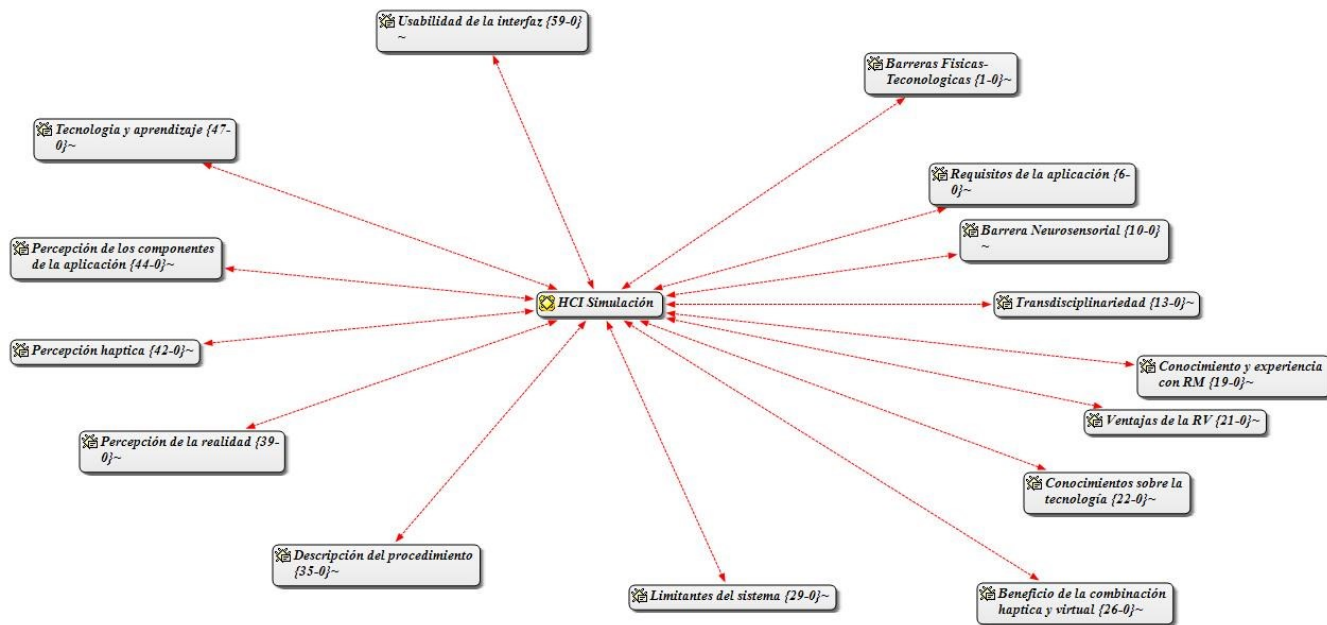
Nota: Imagen propia

4.1.3. Red HCI Simulación.

La red HCI Simulación (Figura 28.) Se define como la relación entre el desarrollo del dispositivo y su aplicación en simulación clínica. Con la actual capacidad de uso de sistemas electrónicos y computacionales, los simuladores clínicos se han beneficiado enormemente en posibilidades casi infinitas de aplicaciones. El desarrollo de simuladores de alta fidelidad debe incluir la percepción háptica y de realidad virtual, para ello el trabajo de un equipo multidisciplinario se hace necesario de modo tal que supla las necesidades particulares del escenario propuesto.

La red HCI Simulación hace referencia a los siguientes códigos descriptivos:

Figura 28
Red HCI Simulación



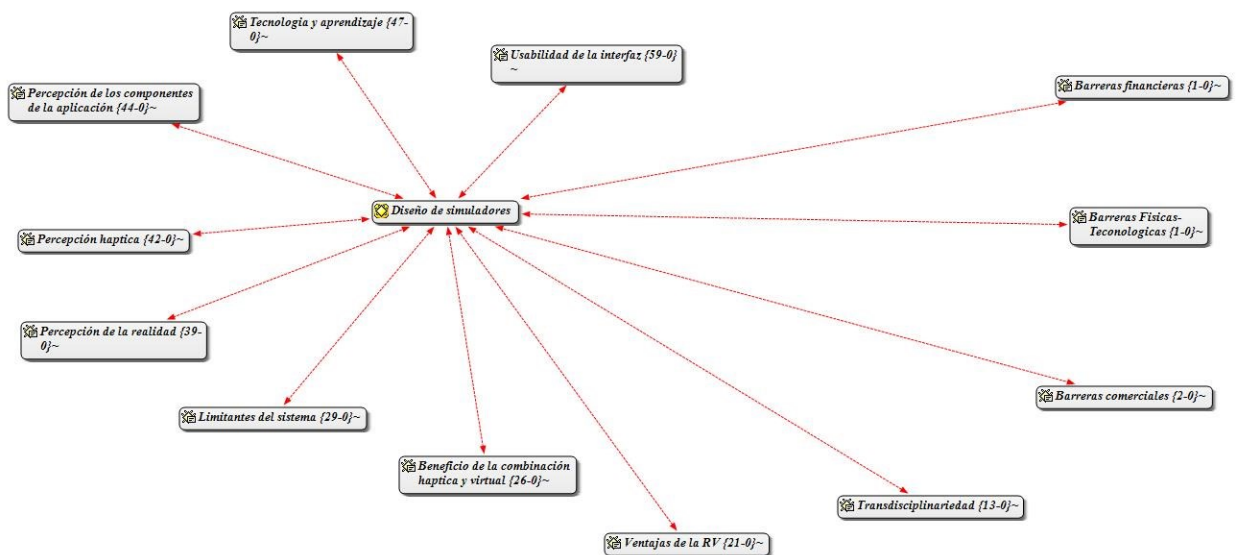
Nota: Imagen propia

4.1.4. Red Diseño de Simuladores

Construcción de dispositivos para la enseñanza en el laboratorio. Para su implementación se deben realizar iteraciones constantes que permitan la mejora continua del realismo propio del simulador, así como de los componentes que se emplean. El uso de elementos mecatrónicos permite complementar las instancias del simulador para ello se hace necesario la generación de interfaces que permitan el desarrollo de actividades de manera fluida.

La red Diseño de Simuladores (Figura 29.) hace referencia a los siguientes códigos descriptivos:

Figura 29
Red Diseño de Simuladores



Nota: Imagen propia

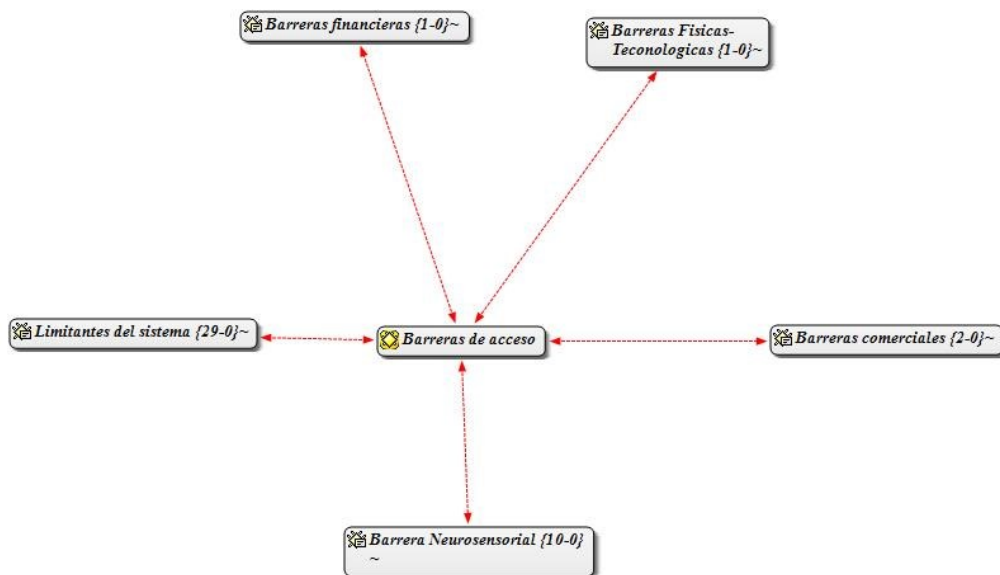
4.1.5. Red Barreras de Acceso

Dificultades que son percibidas por los participantes para acceder a los dispositivos. Es importante reconocer que toda construcción de equipos presenta ventajas y desventajas. Algunas de ellas se presentan a modo de barreras de acceso que se derivan en financieras, comerciales o propias del mismo sistema y adaptabilidad que pueda soportar en el lugar de implementación.

De igual forma la percepción de la realidad desde el imaginario se convierte en una variable muy importante que vale la pena analizar a la luz de los hallazgos.

La red Barreras de Acceso (Figura 30.) hace referencia a los siguientes códigos descriptivos

Figura 30
Red Barreras de acceso



Nota: Imagen propia

4.2. La simulación virtual háptica vs la práctica real

La totalidad de los participantes tuvieron una aceptación muy positiva en lo que respecta al uso de la simulación virtual háptica en el entendido que el grado de realismo obtenido permitió generar la empatía necesaria de una práctica fluida a pesar de algunas dificultades presentadas propias de la limitación sistema.

La combinación de este tipo de experiencias, la háptica a través del dispositivo Belisario y la realidad virtual a través de las gafas HDM de la empresa Oculus, es observada como un aspecto relevante que da trámite al nivel de usabilidad de los dispositivos.

En lo que respecta al grado de inmersión en las diferentes experiencias resulta evidente que la realidad virtual se encuentra en primer orden, esto se debe a que los HDM y la interfaz de la aplicación generan el ambiente necesario de inmersión requerida para lograr total concentración en la práctica. Para ilustrar se presenta el siguiente segmento narrativo tomado de las transcripciones *“pero yo quedé realmente impresionadísima, asombradísima. Como yo digo cuando uno le causa asombro algo uno como que le da más ganas de aprender”* esto redundante en los beneficios propios de la capacidad de aprendizaje mediado por tecnologías y experiencias guiadas en laboratorio.

En lo que respecta a la experiencia háptica generan otro tipo de empatía⁸ *“Si no que como yo me dejo impresionar tanto por lo visual... pues yo quedé enamorada de esto. Pero no es desecharlo, sino que esta parte complementaría esta parte háptica para que la experiencia sea más holística ... Yo quedé matada.”* Se resalta que los participantes al tener un recorrido por la

⁸ A partir de ahora las transcripciones resultado de las entrevistas se presentarán entre “comillas” y letra cursiva

imagenología biomédica su entrenamiento se basa en la interpretación de imágenes lo que puede incidir en la forma de abordar ambas experiencias inmersivas.

Dado el nivel de entrenamiento profesional de los participantes en lo que respecta a procedimientos angiográficos y por lo tanto a simulación clínica, se hace evidente que el abordaje al simulador cardiológico “Belisario” en estado alfa no fue impedimento para la realización de la experiencia háptica en lo que respecta a entender el algoritmo de procedimiento y el alcance del mismo en el sentido estricto de usabilidad el cual se notó en los diferentes niveles de conocimientos de cada uno (Básico, Intermedio y Avanzado).

Cada uno de ellos logró percibir en cada punto de bloqueo propuesto (estenosis, oclusión y obstrucción) y tomar decisiones según su experiencia y resolver el problema asociado. Así mismo el tiempo de abordaje de los problemas se percibió en el nivel de experiencia de cada participante, para ello la toma de decisiones se convirtió en un eje de trabajo que para el nivel básico fue guiado en su casi totalidad y para el nivel intermedio y avanzado se lograron iteraciones al dispositivo de manera propositiva.

Como se ha mencionado los usuarios no cuentan con mayor experiencia en video juegos y su capacidad de adaptación con los HDM de la empresa Oculus y la experiencia fue algo determinante en la comprensión de la importancia de combinar la experiencia háptica y la virtual como constructo didáctico del conocimiento. Algo sumamente interesante fueron las expresiones de asombro en cada usuario, en la siguiente frase *“Yo que en esa parte he tenido la oportunidad de estudiar la parte morfológica a través de varios métodos: la disección hasta el video, o tener de pronto que podemos hacer o estudiar con la mesa Sectra, pero esto supera, los supera a todos”* se logra percibir que este tipo de experiencias permiten mejorar la disposición del estudiante al aprendizaje guiado por tecnologías inmersivas al encontrar un punto de realismo que supera otras herramientas didácticas con menor interacción.

“Es tan gráfica, tan real, que creo que esta es una de las mejores formas de comprender anatomía, porque lo están viendo de una manera tan real, creo que es más fácil comprender la anatomía cuando está así en 3D que verla en una simple imagen plana o bidimensional”, algo que constantemente se busca desde la transdisciplinariedad es la forma de abordar experiencias significativas para el estudiante y en esa medida que la imagen acústica y la imagen háptica se conviertan en una constante de exploración, sin embargo el acceso a escenarios donde la práctica exploratoria (laboratorios de tanatopraxia, acceso a pacientes reales) es cada vez más reducida a expensas de la normatividad vigente.

Al plantear la posibilidad de combinar las dos experiencias se resalta que *“Si yo pensara en combinar ambas experiencias, pues creo que estaría muy cercano al procedimiento como tal”,* de igual forma *“Yo creería y repito que esto sería un éxito donde se lograra combinar las 2 (háptico y RV) eso lo puede tener más adelante el hemodinamista en su casa, no solamente el hemodinamista, que lo tenga... eso se debe extender a todo”*

Estos comentarios refuerzan la idea que las experiencias con realidades virtuales hápticas como una herramienta de soporte en simulación clínica es novedoso y permite mejorar el aprendizaje del usuario en la medida que se hace necesario abordar diferentes elementos neurosensoriales y esto enriquece las posibilidades de adquirir las competencias de abordaje angiográficos.

Por otro lado, la usabilidad de la interfaz en la experiencia virtual se expresa en la alta capacidad de la aplicación para describir a través de la botonería existente tanto las acciones como las nomenclaturas médicas existentes para el reconocimiento de la anatomía uno de los usuarios menciona *“Pues para mi es totalmente similar a la anatomía que se puede explorar con*

otro medio, pues te repito desde la ilustración hasta los videos.” En ese sentido se percibe como “una herramienta con mucho potencial en todos los ámbitos y es impresionante el detalle de cada cosa, los detalles son asombrosos entonces, eso como que genera mucho interés y mucho asombro”.

El hiperrealismo obtenido a través de las gráficas y los videos presentes en la aplicación, llevan al usuario a una serie de reflexiones que generan aprendizaje significativo en la medida de incorporar patologías en el proceso que permiten diferenciar lo normal de la enfermedad *“Como te sientes parte de la arteria, uno lo aprende más fácil, puede comprender con más facilidad esta clase de procedimientos, a pesar que uno puede verlos en diferentes formatos, simuladores.... El hecho de estar como incorporado dentro de la arteria digámoslo así, ver qué es lo que ocurre con el stent y ver qué es lo que hace, la curva de aprendizaje es más veloz que con cualquier otra herramienta. Sobre este tipo de procedimientos si le muestran esta herramienta, yo creo que lo va a comprender más fácil que con otros medios”*

En ese mismo sentido la herramienta de realidad virtual permite realizar anotaciones sincrónicas que al convertirse en parte del proceso mejora el nivel de interacción entre el usuario y la aplicación

Este tipo de aplicación permite la validación del conocimiento a través de las experiencias inmersivas *“yo sé que es un sistema de aprendizaje completamente constructivista o sea yo estoy realizando estas operaciones yo estoy construyendo mi propio conocimiento a través de la investigación o a través dela experiencia, a mí se me hace interesante”*

4.3. Respuesta senso-perceptiva de la realidad virtual háptica en la simulación de la imagen biomédica cardiológica.

La aceptación del grupo de participantes fue positiva, la alta capacidad de respuesta senso-perceptiva lograda en las experiencias propias de la simulación virtual háptica permitió evidenciar la apropiación de conceptos previstos en las competencias que son propios de la didáctica empleada.

La emocionalidad estuvo presente en la experiencia de realidad virtual con las gafas Oculus Rift, en lo que respecta a la experiencia háptica esta fue concebida más como un proceso de atención meticulosa que de exploración, en ese sentido lo percibido y la forma en la que cada participante procesó el grado de inmersión en el que se encontraba permitió entender que este tipo de tecnologías reconocen una curva de aprendizaje más eficaz a la luz del manejo de interfaces hiperrealistas.

Una de las limitaciones halladas a través de la literatura es la realización de procedimientos biomédicos en seres humanos, creando la necesidad del desarrollo de simuladores clínicos. Se puede señalar que la percepción es un hallazgo común frente a las experiencias hápticas y de realidad virtual, la primera obedece a las sensaciones que se presentaron al realizar la simulación del procedimiento angiográfico con los obstáculos propuestos (estenosis, oclusión y obstrucción) y el grado de similitud logrado en comparación con el nivel de experticia de los participantes.

En lo que respecta a realidad virtual, la percepción de los usuarios se destaca la utilidad de esta como elemento didáctico a la hora de comprender mejor el fenómeno estudiado, *“Esto impacta en el ámbito académico de manera impresionante, el hecho de tu hacer parte, de cada... por ejemplo de esta arteria o del corazón o del colon y tu verlos del tamaño con el que*

te lo presentan con colores y con cada una de sus partes, pues facilita el aprendizaje enormemente en el campo de la anatomía, esto se puede llevar a otros campos. Es una herramienta con mucho potencial en todos los ámbitos y es impresionante el detalle de cada cosa, los detalles son asombrosos entonces, eso como que genera mucho interés y mucho asombro”.

De igual forma se presenta “definitivamente es un aprendizaje totalmente significativo y como decía yo, esto permite la aprehensión de este tipo de conocimientos porque no es lo mismo que verlo desde la periferia que verlo desde el interior que permite una aprehensión vuelvo y repito certera e idónea del conocimiento que se quiere comunicar.”

Estas opiniones cobran valía ya que permiten comprender que el uso de tecnologías de punta facilita el aprendizaje de procedimientos angiográficos.

Algo observado a lo largo de las experiencias especialmente de la experiencia de realidad virtual con las gafas Oculus Rift fue la alta emocionalidad de los participantes al poder comparar sus conocimientos con el nivel de gráficos y su alto realismo comparado con otros métodos de aprendizaje *“Yo pienso que para uno aprender necesita asombrarse y gustarle lo que ve, que sea interactivo, para poder tener realmente un aprendizaje significativo, no plano, no gris, maluco, ¡no! Sino vivo que se mueva, que tenga colores que se mueva, que uno pueda interactuar con la herramienta a pesar de que yo solo puedo hacer una cosa a la vez”*

De modo similar la percepción de combinar las dos experiencias es efectiva para los participantes, respuestas frente a la pregunta de combinación *“Porque en la primera experiencia tengo como esa parte de la sensibilidad y en esta parte tengo la experiencia visual y si mezclo ambas pues creo que me acercaría mucho a la experiencia como tal”* Algo que se aprecia en los

comentarios de las entrevistas es la capacidad de usabilidad de las interfaces con el software Sharecare VR y como estas permiten acceder a la información desde diferentes formatos.

Dentro de las ventajas de la realidad virtual con el uso de las gafas HMD Oculus que expresan los participantes se encuentra la alta capacidad de visualizar los datos a través de las imágenes hiperrealistas donde la manipulación de los órganos a través de las interfaces permite mayor inmersión, *“Excelente, excelente, de hecho, no solamente el tamaño, sino precisamente se hace más sensible, al hacerse más grande se hace más evidente es más digerible, más fácil confirmar la anatomía que uno estudia en los libros”*.

También se realiza la siguiente afirmación *“No solamente el estudiante que está aquí, si no la persona que está en esta experiencia, es mucho más fácil, mucho más amigable, digerible, intuitivo y todos los apelativos benéficos que se le puedan dar a este tipo de aplicaciones”*.

Los participantes percibieron algunas dificultades que se presentan del sistema háptico, tema que según el nivel de experiencia del participante fue resuelto de diferentes formas. Ejemplo de ello fue el participante experto quien supo resolver los diferentes niveles de obstrucción propuestos para la experiencia dando uso correcto a los insumos médicos empleados *“Aquí hay oposición, pero se supera como el catéter está más rígido y se rectifica él mismo con la guía, hay una oposición siempre fuerte (lora pasar obstrucción), aquí ya está más suave...”*

Al otro lado de la curva de aprendizaje, la participante con experiencia básica presentaba dudas que con cierto grado de duda fue resolviendo invirtiendo mayor tiempo para comprender las diferencias entre estenosis y obstrucción *“En cada uno de los puntos sean rojos o amarillos, siento (duda) obstrucción, como que no me deja pasar la guía, me voy a devolver a volver a intentar, siento nuevamente obstrucción total, me voy a retirar... Es que se me va, ahh es que se va a un lado del catéter.”*

Algo que se pidió a los participantes fue la descripción de lo que iban realizando en las dos experiencias tanto la háptica como la de realidad virtual, es importante mencionar que el procedimiento angiográfico se iba describiendo tal cual se realiza el procedimiento en la práctica real esto aporta un significativo esfuerzo por conservar el algoritmo de trabajo para que la simulación sea lo más real posible y esto fue percibido de manera unánime, este aparte de la transcripción permite evidenciar este tipo de realismo en la simulación:

E: ya estamos arriba, ya estaríamos prácticamente que en el tronco braquiocefálico derecho (TBCD)

S: Yo creo que toca es empujarla desde acá (catéter posicionado), lo importantes es que la guía no se vaya por dentro del catéter, sino que quede suelto, entonces voy a seguir empujando.

E: Yo ya me quedo quieto para la guía...

S: Realmente la sensación en este momento la oposición que hace la arteria en este momento no es tan fuerte como el primer obstáculo, sin embargo, es un poquito difícil (dispendioso) ... con el catéter se puede superar cosa que no se podría hacer con la guía sola ya que no tiene una facilidad ya que es maleable exactamente, entonces con el catéter si se puede superar.

aquí va, aquí con el catéter ¡si! pero está haciendo mucha oposición, en el contexto real eso lo detiene a uno y pasa una guía hidrofílica.

E: Ya llegamos al punto donde ya deberíamos estar por encima de la coronaria,

S: ¿O sea que ya deberíamos estar llegando al septo coronario, entonces sigo avanzando?

E: Ya, lo hizo muy rápido...

4.4. Los conceptos de la realidad virtual aplicada a la imagen biomédica en ciencias de la salud

Una de las posibilidades que tiene la realidad virtual es la exploración que debe realizar el usuario para descifrar las capacidades que tiene el sistema, sin embargo se observó que dada la experiencia casi nula en video juegos los usuarios no lograban avanzar a menos que existiera unas directrices específicas que guiaran la experiencia. Esto tiene dos miradas, la primera como profesionales de ciencias de la salud, los algoritmos de trabajo son rutina en la totalidad de los procedimientos y esto garantiza las condiciones de seguridad tanto del paciente como del equipo de trabajo.

En su contraposición estas condicionantes profesionales ya concebidas limitaron la forma en la que la experiencia pudo haber sido abordada.

Por el contrario, las barreras neurosensoriales que se definieron como: aspectos de percepción y procesamiento de la realidad generaron una cadena de emociones bastante interesantes a expensas del realismo que presenta la realidad virtual y su combinación con la realidad háptica, por citar ejemplos: *“Es totalmente real, o sea estoy dentro del corazón (Sigue la expresión de asombro), la anatomía es impresionantemente como se ve de real y como se siente uno tan inmensamente pequeño frente al órgano, porque sientes que estás dentro de él, bueno en realidad estoy dentro de él.”*

“Yo creo que ahora lo había hablado, si yo combino esas 2 yo creo que tendría lo más aproximado a la realidad, o sea si yo lo miro por la parte clínica del aprendizaje de los métodos clínicos, diría que es la forma más cercana que tendría de realizar un aprendizaje antes de llegar con un paciente. Lo que se llama como formación empírica. Estoy combinando ambas

cosas, estoy combinando la percepción sensitiva, cuando tengo la oportunidad de hacer ese paso de catéter y si lo combino con esta que es mi percepción visual, esta es la que me permite para mí introducirme en esa realidad, yo realmente si las combino estaría dentro del procedimiento como tal.”

En consecuencia, con estos ejemplos se permite resaltar que en cada participante se presentaron reacciones emocionales diferentes, algunos con mayor exaltación debido a su personalidad, pero el interés que genera la combinación de las experiencias hápticas y virtuales es positiva.

Debido al costo de las tecnologías empleadas el acceso a este tipo de dispositivos sigue siendo un factor a la hora de plantear la adquisición del equipamiento necesario para una experiencia adecuada, si bien se ha mencionado que existen diferentes tipos de inmersión, en las pruebas realizadas se llegó a comprender que los HDM permiten un mayor realismo. De igual forma esto se traduce en la infraestructura necesaria para que el sistema funcione adecuadamente lo que implica la puesta en marcha de un proyecto a largo plazo que permita que la obsolescencia programada de los equipos no afecte la continuidad de la simulación y se entorpezca por ende el alcance de los objetivos de la simulación.

Si bien las Instituciones de Educación Superior (IES) promueven un segundo idioma como complemento de la proyección profesional, se observa que la gran mayoría de dispositivos de realidad virtual y aumentada revisados con contenidos médicos se presentan en el idioma inglés en sus versiones pro.

Un elemento a mencionar en este aspecto es que si bien algunas frases no fueron traducidas textualmente el sistema es lo suficientemente intuitivo de suerte tal que no se afectó la experiencia, así mismo la terminología médica existente en las aplicaciones fueron reconocidas nominalmente sin mayores dificultades.

Una de las principales ventajas asociadas a la simulación es la realización de procedimientos en diferentes niveles de complejidad en ambientes seguros.

4.5. El manejo didáctico de los dispositivos de realidad virtual para el aprendizaje de cateterismo cardiológico

Para la experiencia de la realidad virtual se valora la usabilidad de la interfaz como herramienta de acceso a la información permitiendo explorar de manera intuitiva los elementos de acceso y manipular la fisiología y a la anatomía de los órganos explorados. Por su parte la experiencia háptica tuvo un desarrollo diferente al permitir desde el tacto a los participantes sentir las diferentes clases de enfermedad coronaria, esto se logró a partir de los servomotores que disminuyeron la luz de la arteria simulada.

En lo que respecta al uso de la tecnología para el aprendizaje, la percepción de los participantes es que permiten con el adecuado entrenamiento aprovechar el uso que tienen los simuladores para el aprendizaje mediado por las tecnologías, uno de los participantes menciona *“Demasiado, y sobre todo con la que estoy viendo, no es lo mismo uno explicarlo desde la teoría de una imagen, que explicarlo como estoy yo en este momento al interior del corazón, lo cual permite una aprehensión por parte del estudiante del conocimiento”*.

“Esto es asombroso, pero a mí a veces me aterra, a mí me parece asombroso, y como yo les decía para la académica esto es la locura y fabuloso y los muchachos van a comprender más cosas”

La percepción háptica en este apartado se convierte en un elemento de toma decisiones, esto se presenta en dos vías, la primera en la medida que el nivel de experiencia con el que

contaban los participantes permitieron realizar los procedimientos simulados de manera exitosa y en segunda instancia porque permitió comprender cómo el simulador estaba emulando las sensaciones hápticas, ejemplo de ello comentario proporcionado por el participante intermedio

“sentimos acá el primer obstáculo (se hace giro de la muñeca y pasa), sobre pasamos, vamos bien. –Acción: se pasa fluida la guía- seguimos avanzando, se siente la oclusión, vamos avanzando pasamos bien”.

La idea de combinar las experiencias hápticas y virtuales resulta un mecanismo didáctico que ancla dos elementos la necesidad de conocer el procedimiento y la exploración inmersiva que permite la realidad virtual convirtiéndose en una hibridación senso-perceptiva que aporta a la curva de aprendizaje *“Bueno, por anatomía esta experiencia al ser tan visual comprende realmente lo que es una estenosis de cualquier arteria, ¿cierto?, o sea lo ve, porque es como haciéndole un corte a la arteria entonces comprendes que es lo que está pasando realmente. En el otro ejercicio uno tenía que estar muy atento al tacto, pero esa parte visual te da información de la forma, del tamaño de la estenosis, del grado que puede tener ahí adentro y la otra parte era como muy de acuerdo a lo que sentía, si sentía oclusión o no”*

En lo que respecta a barreras de acceso, las limitantes del sistema son las que se presentan con mayor frecuencia, esto se explica en la medida que los usuarios no habían tenido experiencias inmersivas con la realidad virtual y expresaron no tener experiencia con los video juegos, esto resulta interesante a la luz de la rápida adaptabilidad que se tuvo con la experiencia virtual. En lo que compete a experiencias hápticas se contaba con diferentes grados de experiencia en la realización de procedimientos angiográficos y por ende las dificultades encontradas en el procedimiento fueron las esperadas según el nivel de conocimiento a expensas de la puesta a punto del dispositivo háptico.

La experiencia virtual ha sido valorada de manera superior a la háptica, no se considera que sea mejor o peor, pero la validez de la información que se obtiene a través de las interfaces hace de este tipo de experiencias un elemento importante de abordaje como herramienta didáctica complementaria *“Si no que como yo me dejo impresionar tanto por lo visual (expresión con los ojos) pues yo quedé enamorada de esto. Pero no es desecharlo, sino que esta parte complementaría esta parte háptica para que la experiencia sea más holística... Yo quedé matada.”*

Se insiste en los beneficios que tienen la realidad virtual como parte del proceso cognoscitivo y cómo esta permite ampliar la experiencia a expensas de la tecnología empleada *“pero realmente es valiosísima esta herramienta para poder que cualquier persona pueda conocer un poco más de anatomía, un poco más no con esto puede conocer realmente la anatomía y como cada una de estas enfermedades que están en esta Tablet (pad control) te presentan y entenderla”*

Se menciona en reiteradas ocasiones el beneficio de combinar las dos experiencias *“Es supremamente benéfica, yo recuerdo esa vez lo que se hizo fue avanzar un catéter y establecer en cuales eran los puntos en lo que el catéter no lograba el avance idóneo, pero si se combina esa sensación no textual, a ver eso se denomina, sentido del tacto y se combina con otro sentido como la visión, pues sería más completa, sería más real, más elegante a ese contexto real en el cual trabajan los médicos hemodinamistas, eso es lo que pienso al respecto”.*

Los participantes perciben que se presentan barreras comerciales a expensas de la importación de estos dispositivos y de la implementación en infraestructura, de igual forma para la experiencia háptica se presentaron limitaciones del sistema tema que según el nivel de experiencia del participante fue resuelto de diferentes formas.

Algo que se aprecia en la entrevista es la constante apreciación de la ventaja de la realidad virtual y es la posibilidad de manipular los órganos desde sus propios ejes de rotación, si bien se presentaron algunas dificultades de manipulación de los *joystick*, su adaptación se hizo evidente a lo largo de cada ejercicio. De igual forma es importante mencionar que se presentan desventajas que datan al no existir guías de apoyo que permitan direccionar adecuadamente la experiencia.

Se reitera la posibilidad de comprender que los participantes son nóveles en temáticas de video juegos y pueda relacionar los procesos de exploración en escenarios virtuales.

CAPÍTULO 5: DISCUSIÓN.

La presente investigación tuvo como propósito evaluar la experiencia de la realidad virtual háptica en la simulación de procedimientos de intervencionismo cardiológico.

Retomando la idea del valle misterioso de Masahiro Mori, frente al grado de empatía causada por la experiencia virtual fue superior al de la experiencia háptica, se observan los comentarios constates de realismo logrado con la aplicación sharecare VR, en ese sentido la exploración de escenarios alternativos con alto grado de realismo permite la transmisión de información necesaria que puede ser replicada o ajustada en sus parámetros según el nivel de conocimiento de los usuarios.

Las prácticas guiadas por simulación clínica generan experiencias que pueden superar las expectativas propias de interacción con las interfaces y su alta capacidad de inmersión en el entorno, es así que estas desde la emocionalidad llegan a generar tejido social, ese tejido social puede relacionarse con la empatía que generan estas experiencias que se comunican con el

debriefing, en ese sentido lo comunicacional surge como un elemento disruptivo al interpretarse y reinterpretarse de manera cíclica en todas las esferas propioceptivas.

Uno de los hallazgos incidentales de la investigación obliga a pensar que el entrenamiento perceptivo que se logra con los video juegos puede trasladarse a la simulación clínica, al respecto cabe anotar que los participantes expresaron abiertamente tener un nivel de usabilidad en video juegos baja, que pudo evidenciarse a lo largo de la experiencia virtual con “bloqueos explorativos” que se subsanaron con directrices orales.

En la literatura se reconoce la importancia del diseño de video juegos serios para la salud (Parrado Corredor, Muñoz Cardona, & Henao gallo, 2015) pero tiene una clara dirección al diseño para los pacientes.

El entrenamiento en videojuegos debe considerarse como una alternativa introductoria para los procesos de simulación clínica, en efecto los video juegos dada su alta carga semiótica permiten el aprendizaje conceptual al existir la necesidad de interacción con entornos que posibilitan la resolución de problemas, de igual forma los video juegos al contar con experiencias en primera persona motivan el proceso de aprendizaje, esto permitirá mejorar las habilidades de trabajo en equipo, capacidad de superación, destreza visual (Escobar & Buteler, 2018, pág. 41)

Otro aspecto importante a tener en cuenta es el nivel de inmersión lograda con las experiencias, se reconoce la artificialidad, sin embargo el grado de procesamiento de la realidad es un condicionante del éxito de las experiencias *per se* logradas por el realismo de los entornos hápticos y de realidad virtual, cada uno de ellos se torna en una interfaz que alimenta el modelo de actuación permitiendo que la praxis se convierta en un entorno exploratorio que recrea de manera suficiente un procedimiento intervencionista.

De esto se desprende el análisis del virtual continuum que se obtuvo en ambas experiencias, entender de manera real el concepto permite generar discursos alternos al simple

hecho de la realización de un procedimiento simulado, se permite entender que el uso triádico de la artificialidad mediada por computadoras y escenarios con contenidos de percepción háptica son en sí mismo un progreso didáctico en la aprehensión de técnicas complejas que a posterior serán empleadas en pacientes reales.

Expandir el mundo a través de estas interfaces, es permitir un flujo constante de información que parte del mundo real y se ajusta desde los algoritmos necesarios para traducir el cuerpo en un arquetipo tridimensional que se posiciona en la virtualidad para dar “vida artificial”, permitiendo su exploración como parte de una rutina ancestral cuyo ápice se gestiona desde la salud y a enfermedad.

Por otro lado, la experiencia háptica se convierte en un elemento complementario que deriva la construcción de imágenes a través de la percepción háptica. Este tema no debe considerarse menor en tanto la posibilidad de recrear espacios simulados con un alto potencial háptico mejoran la curva de experiencia en simulación clínica cardiológica que se ha evidenciado con los 3 participantes al reconocer el alto grado de similitud con procedimientos reales en lo que respecta a sensaciones de estenosis, oclusión y obstrucción.

Algo interesante de las experiencias es como los participantes mediaron su propia realidad con la realidad virtual háptica, la forma de adaptación fue rápida, pero se ha de entender que la inexperiencia con los entornos inmersivos pudo limitar la posibilidad de explorar mejor el entorno de la aplicación. Es importante pensar que deben existir entornos lúdicos a manera de experiencias serias que permitan el entrenamiento de los usuarios de estas tecnologías de modo tal que tengan la capacidad suficiente de mediación entre los entornos, las interfaces y lo que se espera de la simulación en el entendido de obtener una curva de aprendizaje mayor en el menor tiempo posible.

La emocionalidad es un elemento a valorar dentro de la experiencia virtual háptica, los participantes dieron muestras en diferentes grados según su personalidad sin embargo, la evaluación de este concepto es positiva pues se logró a través de los escenarios una constante activación de manera que la comunicación de la experiencia permitió el seguimiento concreto de las acciones acertadas y de los errores presentados que generaban la curva de aprendizaje desarrollando los componentes de las competencias deseadas para los procedimientos de cateterismo angiográfico.

Desde la evidencia la experiencia de realidad virtual con HDM produjo las mejores respuestas senso-perceptivas, esto puede obedecer a la alta carga semiótica de las imágenes y al imaginario colectivo producto del perfil laboral de los participantes, esto permite entender que la construcción de las imágenes mentales para los profesionales de la Radiología y las Imágenes Diagnósticas.

El entendimiento de la imagen como elemento de comunicación, por lo menos para la imagen médica, se transforma y se adapta a las nuevas tendencias comunicativas hipermediales, teniendo en cuenta que éstas son el producto de desarrollos innovadores que se vienen aplicando en los diferentes escenarios desde lo audiovisual, la interactividad y la navegabilidad a través de los micro y macro entornos dirigidos a través de la misma Internet.

Lo cíclico en la comunicación está mediado por la interpretación escalonada de signos que son consecuencia de la inferencia del emisor vs receptor, sin embargo y de forma paradójica, esa parametrización en la medicina se interrumpe en la medida que va de la mano de las herramientas (equipos biomédicos) que le permiten al receptor realizar diagnósticos a través de interfaces e interficies con base en evidencias científicas, que se traducen a partir de los signos y sus códigos. Dicha ruptura genera una comunicación lineal no cíclica que si se analiza en el modelo comunicacional de Shannon & Weaver (Baecker, 2017) permite comprender como se

transforma el pensamiento (palabra-imagen) en un instrumento organizador de emisión y recepción.

La imagen biomédica como elemento semiótico y su tránsito en la semiología médica diagnóstica, más que un proceso comunicativo, debe ser considerado como un elemento perceptivo que permita a los profesionales de la salud a través de los códigos y los canales comprender el grado de inmersión que se genera desde la utilización de nuevas tecnologías de exploración que para el caso de esta investigación es la cardiología intervencionista. Encontrar el punto medio entre la comunicación, la interactividad y la inmersión desde todas las aristas posibles consecuentes con la medicina y la tecnología es el nuevo paradigma que se debe abordar considerando las tendencias.

La artificialidad es una constante en este presente, como lo menciona Simon (1996, pág. 3) no se puede o no se debe confundir lo biológico con lo natural y en su metáfora lo artificial y lo sintético han de convertirse en parte del vasto límite de su significado, la artificialidad tiene connotaciones de validación en tanto cumplan las funciones para las cuales han sido “destinadas” y el cuerpo como validador oportuno ha de convertirse en el principal referente de sí mismo como ser antropomórfico⁹.

Con las nuevas tecnologías emergentes y las experiencias inmersivas cada vez más hiperrealistas, el cuerpo real háptico ha comenzado a perder protagonismo, su nuevo atributo (el cuerpo mimético) se gestiona desde las realidades mixtas que proveen a través de dispositivos la información necesaria para el desarrollo del estudiante, sin embargo a la luz del propósito de

⁹ Antropomorfismo es la connotación humana que se le otorga a lo no humano y en el caso de la preservación, la denotación de cuerpo plastinado lo convierte en un cuerpo mimético que sustituye la morfología. El cuerpo observado es artificial, en tanto es una copia exacta de su molde real.

haber concebido un cuerpo artificial lo háptico se convierte en un elemento de inmersión que complementa el paisaje, cerrando el círculo senso-perceptivo y mejorando la experiencia de aprendizaje.

La realidad virtual tiene un amplio potencial de inmersión que aplicado a la simulación clínica permite abordajes incommensurables a la luz de las posibilidades que genera la HCI en este campo biomédico, acá deben recaer los conceptos de la hipermodernidad (Casas, Casas, Contreras, & Rodriguez, 2013, pág. 96) donde la simulación permea al cuerpo imaginario que es replicado en forma mimética y que emerge como un cuerpo separado y transmutable desde las propias variaciones que se pueden plantear desde la necesidad del control mismo de las funciones recreadas para entornos controlados.

La realidad virtual háptica tiene cabida en la hipermodernidad, siendo el siguiente paso para la medicina dadas las altas restricciones éticas contempladas desde la biopolítica. Allí el cuerpo deja su esencia para generar nuevas formas de comunicación al ser interpretado como la unificación de la materia en un escenario donde el cerebro lo percibe como algo real. El siguiente extracto narrativo ilustra lo anteriormente descrito *“para mí la realidad virtual, bueno se, es un tipo de percepción que me permite a mí introducirme a mí en otra realidad, o sea es cambiar la realidad del mundo físico tal como la conozco para meterme en otra realidad que aun sabiendo que es virtual, pues dentro de estos procesos se vuelve en la realidad en la que estoy viviendo ese momento. Para mí es como lo que decía ahora es un mundo paralelo porque no es algo que no sea real, porque es real, porque lo perciben los sentidos, entonces para mí es una realidad. en estos momentos estoy en una realidad por decirlo así”*.

CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este último capítulo se presentan las conclusiones y recomendaciones finales de la investigación, las conclusiones se realizaron con base en los objetivos planteados para la ejecución del proyecto, y las recomendaciones se realizaron con base en los resultados encontrados.

6.1. CONCLUSIONES

- Se logró emular una práctica simulada de un procedimiento de intervencionismo cardiológico empleando la realidad virtual háptica. Las emociones senso-perceptivas permitieron establecer el grado de afinidad logrado a través de este tipo de experiencias, en correspondencia a la teoría del valle misterioso propuesta por Masahiro Mori la curva emocional alcanzada fue altamente empática.
- Las experiencias al estar mediadas por respuestas emocionales mejoran la curva de aprendizaje, lo cual se respalda en el modelo circuplejo de Russell quien postula que al generarse zonas activación y placer durante la experiencia se logró una experiencia de aprendizaje desarrollando los componentes de las competencias deseadas.
- La simulación clínica utilizando experiencias de realidad virtual háptica, como herramienta didáctica es un poderoso o instrumento tecnológico que debe apropiarse de los escenarios académicos para el logro de las competencias académicas y profesionales en el personal que realice procedimientos de intervencionismo cardiológico.

Una de las grandes ventajas que tiene la implementación de la simulación clínica empleando realidad virtual háptica como herramienta didáctica, es la disminución de la dosis ocupacional de radiación ionizante la cual puede verse fácilmente superada en el proceso de aprendizaje.

Este tipo de herramientas didácticas disminuyen la curva de aprendizaje y por ende el beneficio se verá reflejado en el paciente, si bien el beneficio del intervencionismo cardiológico es evidente a la luz de ser menos invasivo que una cirugía mayor, el uso continuo de radiación ionizante sobre el paciente se encuentra estudiado a profundidad por otros campos del conocimiento, pero vale la pena anclarlo a las discusiones con el ánimo de validar este tipo de beneficios en la comunidad general.

- El diseño y la construcción de simuladores biomédicos debe plantear un trabajo inter-multi y transdisciplinar para que sus características físicas, las interfaces de uso y el contenido temático permitan recopilar información necesaria a modo de iteraciones de modo tal que se puedan realizar las actualizaciones en la búsqueda constante del hiperrealismo que obedece a simuladores de última generación.
- En la revisión bibliográfica no se encuentran mayores desarrollos tecnológicos derivados de la aplicación de la realidad virtual háptica en la práctica de la simulación clínica cardiológica, en su lugar se encuentran investigaciones individualizadas, y aplicadas en otras disciplinas no necesariamente del área de las ciencias básicas.

Así pues, el campo de exploración es amplio en términos de diseño, generación de entornos, comprensión de necesidades los cuales deben partir de investigaciones a través del diseño como eje articulador de los procesos.

- La implementación de escenarios de simulación clínica en facultades de ciencias de la salud debe ser considerada como una necesidad de alta prioridad en los planes de desarrollo de las Instituciones de Educación Superior en Colombia. Las ventajas que los simuladores de última generación han demostrado a lo largo de investigaciones guiadas desde diferentes puntos de vista (Ciencias de la salud, Ingeniería, Diseño) demuestran que el costo-efectividad es un elemento decisivo a la hora de abordar el aprendizaje como herramienta cognitiva.

- La exploración de las respuestas senso-perceptivas de la realidad virtual háptica, deben seguir caminos de hibridación en investigaciones a través del diseño, esto permitirá mejores iteraciones de los dispositivos y por ende mejores resultados de interacción entre los usuarios y el objetivo propuesto para su construcción.

- Proponer una segunda fase de tipo cuasi-experimental, que permita comparar grupos para definir de manera objetiva el cambio de la curva de aprendizaje y resaltar la hibridación de las disciplinas del diseño, la ingeniería y las ciencias de la salud.

- Finalmente, la implementación de escenarios de simulación de alta fidelidad pone de manifiesto que su implementación acarrea una serie de retos en infraestructura, operacionalización, desarrollo académico e investigativo que en Colombia puede llegar a ser limitado dadas las políticas de inversión en investigación.

6.2. RECOMENDACIONES

Las posibles rutas de ampliación de la presente investigación se pueden establecer de la siguiente forma:

- A corto plazo el desarrollo de la segunda fase del simulador Belisario, de modo tal que se tenga un circuito con mayores componentes emuladores de la anatomía humana y que permitan la realización de investigaciones con metodologías mixtas (cuantificas y cualitativas) con el objetivo de comprender cómo la curva de aprendizaje en lo concerniente a lo procedimental, se beneficia gracias a las iteraciones realizadas como producto de las experiencias de realidad virtual háptica.
- A mediano plazo se deben ampliar estudios de hibridación del diseño en áreas de las ciencias de la salud que permitan mejorar el trabajo transdisciplinar en procesos de realidad virtual háptica.
- Finalmente realizar la apropiación social del conocimiento de este tipo de experiencias en escenarios tanto del Diseño como de las Ciencias Biomédicas, que permitan dar a conocer la amplia posibilidad que las investigaciones a través del diseño aportan al desarrollo de procedimientos biomédicos más seguros para la comunidad.

Bibliografía

- Afra, P. A. (2015). *Accesibilidad en entornos web interactivos: superación de las barreras digitales*. Obtenido de <https://www.tdx.cat/handle/10803/314581#page=2>
- Aguado, T. J. (2004). *INTRODUCCION A LAS TEORIAS DE LA COMUNICACION Y LA INFORMACION*. Murcia: Universidad de Murcia.
- Aguilar, S., & Barroso, J. (2015). LATRIANGULACIÓN DE DATOS COMO ESTRATEGIA EN INVESTIGACIÓN EDUCATIVA. *Revista de Medios y Educación*.(47), 73-88. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/368/36841180005.pdf>
- Alvear-Puertas, V. R.-M.-O.-R. (2017). Internet de las Cosas y Visión Artificial, Funcionamiento y Aplicaciones: Revisión de Literatura. *Enfoque UTE*, 244-256. Obtenido de <https://doi.org/10.29019/enfoqueute.v8n1.121>
- Amaya, A. A. (2012). Simulación clínica y aprendizaje emocional. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 41, 44-51. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcp/v41s1/v41s1a06.pdf>
- Amount, J. (1992). *La imagen*. Barcelona: paidós. Obtenido de <https://mariainescarvajal.files.wordpress.com/2011/03/aumont-la-imagen.pdf>
- ASO, J. e. (2005). Virtopsia: Aplicaciones de un nuevo método de inspección corporal no invasiva en ciencias forenses. *Cuaderno de medicina forense*, 95-106. Obtenido de http://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062005000200001
- Baecker, D. (2017). Teorías sistémicas de la comunicación. *Revista Mad. Revista del Magíster en Análisis Sistémico Aplicado a la Sociedad*, 37, 1-20. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=311252754001>
- Ballesteros, S. (1993). PERCEPCIÓN HAPTICA DE OBJETOS Y PATRONES REALZADOS: UNA REVISIÓN. *Pisicothema*, 311-321. Obtenido de <http://www.pisicothema.com/pdf/885.pdf>
- Banks, j., & al, e. (2009). *Discrete-Event System Simulation*. Obtenido de [http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20\(Fifth%20Edition\)%20.pdf](http://ce.sharif.edu/courses/95-96/2/ce634-1/resources/root/Books/Discrete%20Event%20System%20Simulation%20(Fifth%20Edition)%20.pdf)
- Belting, H. (2007). *Antropología de la imagen*. Buenos Aires: Katz editores. Obtenido de <https://bibliodarq.files.wordpress.com/2013/10/3-belting-h-antropologc3ada-de-la-imagen-cap-1.pdf>
- Benavides, G., Guzmán, J., Martínez, C., Arango, J., Suarez, I., & Forero, L. (2019). *Colombia Patente n^o NC2017/0007371*.
- Berti, A. (2009). Mímesis, fotografía e imagen electrónica. *VII Congreso Internacional de Teoría y Crítica literaria Orbis Tertius*. Buenos Aires: Centro de estudios de Teoría y Crítica. Obtenido de <https://www.academica.org/agustin.beriti/16.pdf>
- Bettetini, G., & Colombo, F. (1995). *Las nuevas tecnologías de la comunicación*. Paidós.

- Bush, V. (1945). *As we may think*. Obtenido de <http://web.mit.edu/STS.035/www/PDFs/think.pdf>
- Bushong, S. (2017). *Manual de radiología para técnicos*. Elsevier.
- Calla, P., Vargas, n., Sanabria, p., Yapura, P., & Aramayo, N. (2019). Simulador cardíaco dinámico para estudios de medicina nuclear. *Revista Argenitna de Ingeniería*, 101-107. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59865562/RADI_1320190625-78170-15eneb5.pdf?1561505482=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DRADI.pdf&Expires=1598740408&Signature=Pcqgv7EZs5tNch~oLtYhv4e2DvybDtjhGgg8Sa3v2rKNRtJNl4ui~t8uUaWHS32vI0gkkUghW8
- Canals, M. (2008). HISTORIA DE LA RESONANCIA MAGNÉTICA DE FOURIER A LAUTERBUR Y MANSFIELD: EN CIENCIAS, NADIE SABE PARA QUIEN TRABAJA. *Revista Chilena de radiología*, 39-45. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-93082008000100009>
- Cañedo, A. R. (1996). Breve historia del desarrollo de la ciencia. *Acimed*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1024-94351996000300007
- Cárdenas, T., Forero, J., & Parra, E. (2019). *PERCEPCIÓN DE LOS ESTUDIANTES DEL PROGRAMA DE FISIOTERAPIA DE LA UNIVERSIDAD DE LA SABANA SOBRE LA SIMULACIÓN CLÍNICA EN SU APRENDIZAJE EN EL PERIODO 2018-II. FASE II*. Bogotá: Universidad de la Sabana.
- Casas, I., Casas, D., Contreras, G., & Rodriguez, A. (2013). El cuerpo, hipermodernidad y medicina. *Revista de Medicina e Investigación*, 1(2), 93-98. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-revista-medicina-e-investigacion-353-articulo-el-cuerpo-hipermodernidad-medicina-X2214310613085573>
- Castañares, W. (2011). Realidad virtual, mimesis y simulación. *Cuaderno de información y comunicaión*, 59-81.
- Clark, A., & Chalmers, D. (1998). Mind, The Extended. *Oxford Journals*. Obtenido de <https://www.alice.id.tue.nl/references/clark-chalmers-1998.pdf>
- Contreras, F. d. (2016). Las emociones del espectador en una experiencia fotográfica, pictórica y cinematográfica. *Revista Investigación y Pedagogía*, 14(7), 165-192. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/prasa/v7n14/v7n14a08.pdf>
- Córdoba, C. (2013). La experiencia de usuario: de la utilidad al afecto. *Iconofacto*, 9(12), 56-70. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/5204339.pdf>
- Correal, U. G. (1985). Enfermedades precolombinas, apuntes sobre paleontología. *Revistas Universidad Nacional*, 14-27. Obtenido de <https://revistas.unal.edu.co/index.php/revistaun/article/view/11693/12359>
- Corvetto, M. B. (2013). Simulación en educación médica: una sinopsis. *Revista de simulación médica*, 70-79. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013000100010>
- Corvetto, M. B. (2013). Simulación en educación médica: una sinopsis. *Revista médica de Chile*, 70-70. Obtenido de <https://dx.doi.org/10.4067/S0034-98872013000100010>
- Costa, J. (1998). *La Esquemática*. Paidós.

- Dávila, A. (2015). Simulación en Educación Médica. *Investigación en Educación Médica*, 100-105. Obtenido de <https://www.elsevier.es/es-revista-investigacion-educacion-medica-343-articulo-simulacion-educacion-medica-S2007505714727334>
- Dávila, G. (2006). EL RAZONAMIENTO INDUCTIVO Y DEDUCTIVO DENTRO DEL PROCESO INVESTIGATIVO EN CIENCIAS EXPERIMENTALES Y SOCIALES. *Laurus Revista de Investigación*, 12, 180-205. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/761/76109911.pdf>
- Delors, j. (1994). *Los cuatro pilares de la educación*. Obtenido de <https://www.uv.mx/dgdaie/files/2012/11/PPP-DC-Delors-Los-cuatro-pilares.pdf>
- Díaz, D., & Cimadevilla, B. (2019). Educación basada en simulación: debriefing, sus fundamentos, bondades y dificultades. *Medigraphic*, 95-103. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/simulacion/rsc-2019/rsc192f.pdf>
- Dillenseger, J. P. (2012). *Manual para Técnicos Radiólogos: Cuando la Teoría enriquece la práctica*. Buenos Aires: Journal.
- Eisenberg, R. (1992). *Radiology an Illustrated Hystory*. A. S. Patterson: Mosby.
- Erazo, Y., Cárdenas, R., & Gonzales, L. (2019). *NIVEL DE SATISFACCIÓN DE LOS ESTUDIANTES DE INSTRUMENTACIÓN QUIRÚRGICA FRENTE A LA SIMULACIÓN CLÍNICA, PERÍODO 2019 A*. Tesis, Universidad Santiago de Cakli, Cali.
- Escobar, M., & Buteler, L. (2018). Resultados de la investigación actual sobre el aprendizaje con videojuegos. *Revista de enseñanza de la física*, 30(1), 25-4. Obtenido de https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/91660/CONICET_Digital_Nro.a49d9972-cd61-46b9-92da-b9e4bfd0ae89_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Espinosa, R., & Medellín, H. (2014). Análisis y evaluación de la heneración de íconos mentales en personas invidentes a partir de la percepción virtual táctil utilizando realidad virtual y sistemas hápticos. *Revista Icono14*, 295-314. Obtenido de <https://icono14.net/ojs/index.php/icono14/article/view/695/478>
- facebook. (30 de 10 de 2020). *Oculus*. Obtenido de Oculus: <https://www.oculus.com/>
- Fernandez, J. M., Torres, p., Guaman, L., & Rodríguez, G. (2019). Experiencia Afectiva Usuario en ambientes con Inteligencia Artificial, Sensores Biométricos y/o Recursos Digitales Accesibles: Una Revisión Sistemática de Literatura. *Revista Ibérica de Sistemas y Tecnologías de Información*, 35-53. Obtenido de <http://www.scielo.mec.pt/pdf/rist/n35/n35a04.pdf>
- Gadamer, H.-G. (1995). *El Giro Hermenéutico*. Ediciones Cátedra S.A. Obtenido de <http://www.fadu.edu.uy/estetica-diseno-ii/files/2014/04/Gadamer-El-giro-hermeneutico.pdf>
- García, P., & A, H. (2016). La educación quirúrgica actual como una herramienta para una práctica clínica más segura. *Revista Colombiana de Cirugía*, 237-239. Obtenido de <https://www.revistacirugia.org/index.php/cirugia/article/view/300/277>
- Gianneti, C. (2001). Reflexiones acerca de la crisis de la imagen técnica, la interfaz y el juego. *Análisi* 27, 151-158.

- Golestein, E. (2002). *Sensación y Percepción*. México: Thomson.
- González, M. A., & al, e. (2006). *Técnicas y Algoritmos básicos de Visión Artificial*. Universidad de La rioja. Obtenido de <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/online/VisionArtificial.pdf>
- Graham, D. C. (2012). *Principios y aplicaciones de física radiológica*. Barcelona: Elsevier.
- Guy, C., & Ffitch, D. (2005). *An Introduction to the Principles of Medical Imaging*. Imperial College Press.
- Guzmán, H., & Martín, K. (2017). *IMPLEMENTACIÓN DE UN SIMULADOR DE SEÑALES ELECTROCARDIOGRÁFICAS PARA LA EVALUACIÓN FUNCIONAL DE MONITORES*. Obtenido de <http://repositorio.uch.edu.pe/bitstream/handle/uch/109/CD-TIEL-018-2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Hassan, M. Y., & ortega, S. S. (2005). *no solo usabilidad: revista sobre personas, diseño y tecnología*. Obtenido de <http://www.nosolousabilidad.com/manual/1.htm>
- Heewet, t, Baecker, Card, S., Carey, T., Gasen, J., Mantei, M., . . . Verplank, W. (1992). *Curricula for human computer interaction*. New York. Obtenido de <https://dl.acm.org/doi/pdf/10.1145/2594128>
- Hermanus, D. (2013). LA HERMENÉUTICA SEGÚN HANS-GEORG GADAMER Y SU APOORTE A LA EDUCACIÓN. *Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal*, 34-83.
- Hernandez, I. (2019). Estética de lo imposible. *Dat Journal*, 32-47. Obtenido de https://scholar.google.es/scholar?lr=lang_es&q=wet+ware&hl=es&as_sdt=0,5&as_ylo=2019
- ICRP. (2007). *ICRP 103 Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica*. Obtenido de Las Recomendaciones 2007 de la Comisión Internacional de Protección Radiológica, publicación 103: http://www.icrp.org/docs/P103_Spanish.pdf
- ISO/TS 16071. (2003). *Ergonomics of human-system interaction — Guidance on accessibility for human-computer interfaces*. Geneva. Obtenido de <https://www.iso.org/standard/30858.html>
- Kaehler, A., & Bradski, G. (2017). *Learning OpenCV*. O'reilly. Obtenido de <https://www.bogotobogo.com/cplusplus/files/OReilly%20Learning%20OpenCV.pdf>
- Kirner, C. (2011). Prototipagem Rápida de Aplicacioes Interativas de Realidade Aumentada. *Tendências e Técnicas em Realidade Virtual e Aumentada*, 29-54. Obtenido de https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59612760/livro201120190608-64682-1miquoeu.pdf?1560021693=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DTendencias_e_Tecnicas_em_Realidade_Virtu.pdf&Expires=1597708673&Signature=AjRoy0t4epvjs4GsNmPjIH0OsN6OKL06mptn
- Krippendorff, K. (2007). *The semantic turn, a new foundation for design*. Boca raton: CRC press. Obtenido de https://repository.upenn.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1090&context=asc_papers

- Latour, B. (1986). *Visualisation and Cognition: Thinking in Eyes and Hands*. Obtenido de [http://hci.ucsd.edu/10/readings/Latour\(1986\).pdf](http://hci.ucsd.edu/10/readings/Latour(1986).pdf)
- Lévy, P. (2007). *Cibercultura, informe al consejo de Europa*. Barcelona: Antropomorfos. Obtenido de <https://antroporecursos.files.wordpress.com/2009/03/levy-p-1997-cibercultura.pdf>
- López Sánchez, M., & al, e. (2013). La simulación clínica como herramienta de aprendizaje. *cma*, 27-31. Obtenido de http://www.asecma.org/Documentos/Articulos/05_18_1_FC_Lo%C2%A6%C3%BCpez.pdf
- López, M. D., & Pérez, I. (2017). Consideraciones teórico-metodológicas para la implementación de un. *Humanidades Médicas*, 86-106. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/hummed/hm-2017/hm171g.pdf>
- López, V., Montero, F. M., & Gonzalez, P. (2006). Interfaces de Usuario inteligentes: Pasado, presente y futuro. *Researchgate*, 394-402. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/228801200_Interfaces_de_Usuario_Inteligentes_Pasado_Presente_y_Futuro
- Machado, L. (2020). MORTALIDAD DEL SÍNDROME CORONARIO AGUDO CON ELEVACIÓN DEL SEGMENTO S-T MEDIANTE LA ESCALA DE GRACE. *REVISTA UNIANDES DE CIENCIAS DE LA SALUD*, 407-417. Obtenido de <http://45.238.216.13/ojs/index.php/RUCSALUD/article/view/1676>
- Maestre, j., & Rudolph, j. (2015). Teorías y estilos de debriefing: el método con buen juicio como herramienta de evaluación formativa en salud. 282-285. Obtenido de <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0300893214003868?via%3Dihub>
- Manovich, L. (2005). *El lenguaje de los nuevos medios de Comunicación, la imagen en la era digital*. Paidós.
- Marescaux, J. (2013). Estado actual de la cirugía. Cirugía robótica y telecirugía. *Cirugía y cirujanos*, 265-268. Obtenido de <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66228318001>
- Martínez, M., & Toledo-Pereyra, L. (2000). Werner Theodor Otto Forssmann: Cirujano, Cateterista y Premio Nobel. 257-263. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/cirgen/cg-2000/cg003m.pdf>
- McMillan, j., & Schumacher, S. (2005). *Investigación Educativa*. España: Pearson. Obtenido de https://des-for.infed.edu.ar/sitio/upload/McMillan_J._H._Schumacher_S._2005._Investigacion_educativa_5_ed..pdf
- Mejía, V. (2017). *Efecto de la Simulación de alta fidelidad e el proceso de razonamiento clínico y toma decisión en anestelistas en formación*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Méndez-Muñoz, P. C.-E.-R.-P.-H. (2020). Mortalidad por enfermedad isquémica cardiaca según variables sociodemográficas en Bogotá, Colombia. *Revista Salud Bosque*, 10(1), 65-78.

- Obtenido de
<https://revistasaludbosque.unbosque.edu.co/index.php/RSB/article/view/2828/2413>
- Mesquita, E. T., & al, e. (2015). Prêmios Nobel: Contribuições para a Cardiologia. *Arquivos Brasileiros de Cardiologia*. Obtenido de https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0066-782X2015005050041&script=sci_abstract&tlng=pt
- Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A Taxonomy of Mixed Reality Visual Displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*.
- Milluzo, S. (2015). Imagen y poder en la comunicación médico- paciente de los foros de medicina. *Discurso médico. Reflexiones lingüísticas, históricas y lexicográficas*, 6, 151-180. Obtenido de https://aisberg.unibg.it/retrieve/handle/10446/77830/128101/CERLIS%20SERIES%206_8.%20Milluzo.pdf
- Mitchel, w. (2009). *Teoría de la imagen, ensayos sobre representación verbal y visual*. Madrid: Ediciones Akal.
- Moles, A. A. (2015). la imagen comunicación funcional.
- Montero, R. (1996). Realidad Virtual. *Revista Digital*, 59. Obtenido de <https://www.acta.es/recursos/revista-digital-manuales-formativos/548-001>
- Mori, M. (1970). The Uncanny Valley: The Original Essay. *IEEE Spectrum*. Obtenido de <https://web.ics.purdue.edu/~drkelly/MoriTheUncannyValley1970.pdf>
- Myers, B., Holland, J., & Cruz, I. (1996). Strategic Directions in Human Computer Interaction. *Advancing Computing as a Science & Profession*, 794-809. Obtenido de https://www.academia.edu/7079403/2007_Volume_I_Issue_1_Pages_56_59_The_Semantic_Turn_A_New_Foundation_for_Design
- Nichollsa, S. J. (2008). Evaluación de la progresión y la regresión de la aterosclerosis coronaria mediante ecografía intravascular. ¿Un nuevo cambio de paradigma? *Revista Española de Cardiología*, 59(1), 57-66. Obtenido de <https://www.revespcardiol.org/es-evaluacion-progresion-regresion-aterosclerosis-coronaria-articulo-13083650>
- Okuda, B. M., & Gómez, R. C. (2005). Metodología de investigación y lectura crítica de estudios. Métodos en investigación cualitativa: triangulación. *Revista Colombiana de Psiquiatría*, 118-124. Obtenido de <http://www.scielo.org.co/pdf/rcp/v34n1/v34n1a08.pdf>
- Olvera Cortés, H. E. (2020). *Mejora de habilidades en la interpretación del electrocardiograma mediante un taller con simulación clínica*. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_isoref&pid=S2077-28742020000100030&lng=es&tlng=e
- Ortiz, J. C. (2014). Que es la experiencia del usuario en el diseño de producti. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/318769016_Que_es_la_experiencia_del_usuario_en_el_diseno_de_producto
- Padrón García, K. P.-N. (2016). Gammagrafía de perfusión miocárdica versus otras técnicas en el diagnóstico de enfermedad arterial coronaria. *Revista cubana de cardiología y cirugía*

- cardiovascular*, 25-33. Obtenido de <http://www.revcardiologia.sld.cu/index.php/revcardiologia/article/view/627>
- Parrado Corredor, F. E., Muñoz Cardona, J. E., & Henao gallo, O. A. (2015). Diseño de videojuegos serios para la salud. *Revista Académica e Institucional Páginas de la UCP*. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/275643012_DISENO_DE_VIDEOJUEGOS_SERIOS_PARA_LA_SALUD
- Penalva, C., Alaminos, A., Frances, F., & Santacreu, O. (2015). *Investigación Cualitativa: Tecnicas de investigación y análisis con atlas ti*. Pydlos. Obtenido de https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/52606/1/INVESTIGACION_CUALITATIVA.pdf
- Pérez, S. M., Cruz, M., & Romero, G. M. (2016). Papel de la informática médica en el desarrollo de las formas lógicas del pensamiento. *Revista Cubana de Informática Médica*, 215-223. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1684-18592016000200007&lng=es&nrm=iso
- Piqueras Florez, J. (2017). *Sociedad Española de cardiología*.
- Quillian, M. R. (1966). *Semantic Memory*. Cambridge. Obtenido de <https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/641671.pdf>
- Riascos, C., Loaiza, Á., & Estrada, R. (2018). La interacción humano computador en el currículo de las instituciones de educación superior de Colombia. *Revista de Investigación, Desarrollo e Innovación*, 147-162.
- Roldán-Valadez E, V.-G. I.-C. (2008). Conceptos básicos del 18F-FDG PET/CT. Definición y variantes normales. *Medigraphic*, 137-145. Obtenido de <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=16390>
- Rubio, T. J., & Gertrudix, B. M. (2016). Realidad Virtual (HMD) e interacción desde la perspectiva de la construcción narrativa y la comunicación: Propuesta taxonómica. *Icono 14*, 1-24. Obtenido de <https://icono14.net/ojs/index.php/icono14/article/view/965>
- Ruiz Coz, S. (2012). *Simulación Clínica y su utilidad en la mejora de la seguridad de los pacientes*. Universidad de Cantabria. Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/901/RuizCozS.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Ruíz, P. A., Ángel, M. E., & Guevara, O. (2009). LA SIMULACIÓN CLÍNICA Y EL APRENDIZAJE VIRTUAL. TECNOLOGÍAS COMPLEMENTARIAS PARA LA EDUCACIÓN MÉDICA. *Revista facultad de medicina*, vol 5, 67-70.
- Salas Perea, R., & Ardanza Zulueta, P. (1995). *La simulación como método de enseñanza y aprendizaje*. Recuperado el 08 de 05 de 2017, de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-21411995000100002&lng=es.
- Semera, M. (2015). *Los tres Teoremas: Fourier-Nyquist-Shannon*. Universidad del Centro de Estudios Macroeconómicos. Obtenido de <https://www.econstor.eu/bitstream/10419/130833/1/844215546.pdf>

- Shi, H., Ames, J., & Randles, A. (2020). Harvis: una herramienta interactiva de realidad virtual para la modificación y simulación hemodinámicas. *revista de Ciencia Computacional*.
- Siemens, H. (6 de junio de 2019). *siemens-healthineers.com*. Obtenido de <https://www.siemens-healthineers.com/ar/press-room/press-releases/pr-20190613001.html>
- Simon, H. (1996). *The sciences of the artificial*. London, England: MIT Press. Obtenido de https://monoskop.org/images/9/9c/Simon_Herbert_A_The_Sciences_of_the_Artificial_3rd_ed.pdf
- Sociedad Colombiana de cardiología. (2008). *Guías Colombianas de Cardiología Síndrome coronario agudo sin elevación del ST* (Vol. 15). Obtenido de <https://scc.org.co/wp-content/uploads/2012/08/8-guia-enf-coronaria-2008.pdf>
- Solano M., E. E. (2016). La imagen háptica como signo intuitivo. LIBRO Filosofía, Arte y Diseño. Diálogo en las fronteras. En *Filosofía, arte y diseño* (págs. 253-264). Guanajuato: Universidad de Guanajuato. Obtenido de https://www.academia.edu/28855230/La_imagen_h%C3%A1ptica_como_signo_intuitivo_LIBRO_Filosof%C3%ADa_Arte_y_Dise%C3%B1o_Di%C3%A1logo_en_las_fronteras_UAEMex_ISBN_978-607-441-401-1_Pag._253_a_264
- Solano, E. (2015). *Subjetividad en la Interpretación de las imágenes Hápticas*. IV Jornadas Internacionales de Hermenéutica. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/316342418_Subjetividad_en_la_Interpretacion_de_las_imagenes_Hapticas_IV_Jornadas_Internacionales_de_Hermeneutica_Sede_Buenos_Aires_Arg_ISBN_978-987-27903-2
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*.
- Taylor, S., & Bogdan, R. (2000). *Introducción a los métodos cualitativos*. Paidós. Obtenido de <https://asodea.files.wordpress.com/2009/09/taylor-s-j-bogdan-r-metodologia-cualitativa.pdf>
- Topolanski, R. (2008). Obtenido de <http://www.scielo.edu.uy/pdf/ago/v43n3/topolans.pdf>
- Universities, O. R. (24 de 05 de 2020). *Wolf X-Ray Products Operating Fluoroscope* . Obtenido de <https://www.orau.org/ptp/collection/Radiology/fluoronohandle.htm>
- Valverde, I. (2017). Impresión tridimensional de modelos cardiacos: aplicaciones en el campo de la educación médica, la cirugía cardiaca y el intervencionismo estructural. *Revista Española de Cardiología*, 70(4), 282-291. Obtenido de <https://www.revespcardiol.org/es-three-dimensional-printed-cardiac-models-applications-articulo-S0300893216305267?redirect=true>
- Vela, A. (2020). *CARACTERÍSTICAS CLÍNICAS Y PRONÓSTICO DE PACIENTES CON INFARTO DE MIOCARDIO SIN ELEVACIÓN DEL SEGMENTO ST Y ARTERIAS CORONARIAS SIN LESIONES ANGIOGRÁFICAS SIGNIFICATIVAS ADMITIDOS EN EL HOSPITAL NACIONAL EDGARDO REBAGLIATI MARTINS, LOS AÑOS 2017 Y 2018*". Lima. Obtenido de http://repositorio.upch.edu.pe/bitstream/handle/upch/7759/Caracteristicas_VelaSandoval_Asdrubal.pdf?sequence=1

- Velasco Martin, A. (2013). *Simulación clínica y enfermería, creando un ambiente de simulación*.
Obtenido de <https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/3949/VelascoMartinA.pdf>
- Vesalius, A. (1543). *De hummani Corporis Fabrica*. The Warnock Library.
- Vicente Jimenez, s. (2016). *Análisis comparativo de morbimortalidad y supervivencia a 12 años del tratamiento de la estenosis carotidea mediante endarterectomía, stent transfemoral y stent transcervical en 481 pacientes*. Obtenido de <https://eprints.ucm.es/38539/1/T37542.pdf>
- Vidal, M., & al, e. (2019). Simuladores como medios de enseñanza. *Educación Médica Superior*, 37-49.
Obtenido de <https://www.medigraphic.com/pdfs/educacion/cem-2019/cem194j.pdf>
- Yapur, M., Argüello, S., & Márquez, j. (2010). Análisis, diseño y construcción de un simulador de señales de paciente para ser usado en electrocardiografía, utilizando comandos digitales. *Centro de investigación Científica y Tecnológica*.