

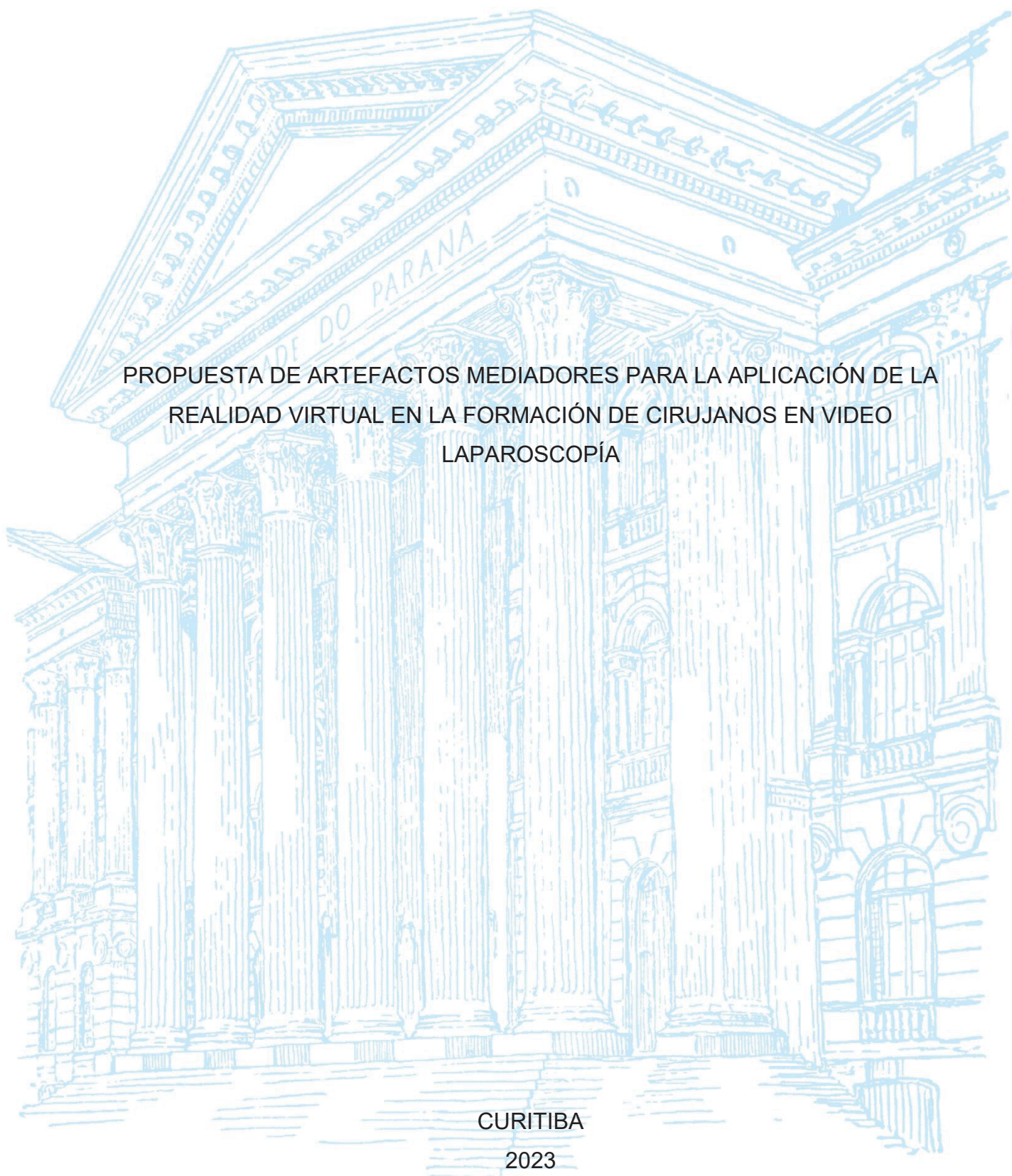
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

FUAD ANTONIO PUMAREJO MERCADO

PROPUESTA DE ARTEFACTOS MEDIADORES PARA LA APLICACIÓN DE LA
REALIDAD VIRTUAL EN LA FORMACIÓN DE CIRUJANOS EN VIDEO
LAPAROSCOPIA

CURITIBA

2023



FUAD ANTONIO PUMAREJO MERCADO

PROPUESTA DE ARTEFACTOS MEDIADORES PARA LA APLICACIÓN DE LA
REALIDAD VIRTUAL EN LA FORMACIÓN DE CIRUJANOS EN VIDEO
LAPAROSCOPIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Design (PPGDesign), do setor de Ciências Humanas da Universidade Federal do Paraná, como requisito para obtenção do grau de Mestre em Design.

Orientador: Prof. Márcio Fontana Catapan, Ph.D.

CURITIBA

2023

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ
SISTEMA DE BIBLIOTECAS – BIBLIOTECA DE CIÊNCIAS HUMANAS

Mercado, Fuad Antonio Pumarejo

Propuesta de artefactos mediadores para la aplicación de la realidad virtual en la formación de cirujanos en vídeo laparoscopia.
/ Fuad Antonio Pumarejo Mercado. – Curitiba, 2023.

1 recurso on-line : PDF.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná,
Setor de Artes, Comunicação e Design, Programa de Pós-
Graduação em Design.

Orientador: Prof. Dr. Márcio Fontana Catapan.

1. Realidade virtual no ensino superior. 2. Cirurgia laparoscópica. 3. Médicos – Formação. I. Catapan, Márcio Fontana, 1979-. III. Universidade Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Design. IV. Título.

Bibliotecária: Fernanda Emanoéla Nogueira Dias CRB-9/1607

TERMO DE APROVAÇÃO

Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação DESIGN da Universidade Federal do Paraná foram convocados para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado de **FUAD ANTONIO PUMAREJO MERCADO** intitulada: **Propuesta de artefactos mediadores para la aplicación de la realidad virtual en la formación de cirujanos en video laparoscopia**, sob orientação do Prof. Dr. MARCIO FONTANA CATAPAN, que após terem inquirido o aluno e realizada a avaliação do trabalho, são de parecer pela sua APROVAÇÃO no rito de defesa.

A outorga do título de mestre está sujeita à homologação pelo colegiado, ao atendimento de todas as indicações e correções solicitadas pela banca e ao pleno atendimento das demandas regimentais do Programa de Pós-Graduação.

CURITIBA, 27 de Fevereiro de 2023.

Assinatura Eletrônica

28/02/2023 15:51:48.0

MARCIO FONTANA CATAPAN

Presidente da Banca Examinadora

Assinatura Eletrônica

06/03/2023 16:11:59.0

AUDREY TIEKO TSUNODA

Avaliador Externo (PONTIFICIA UNIVERSIDADE CATOLICA DO PARANÁ- PUCPR)

Assinatura Eletrônica

01/03/2023 13:21:34.0

MARIA LUCIA LEITE RIBEIRO OKIMOTO

Avaliador Interno (UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ)

Se lo dedico a todos los profesionales de la salud que día a día ayudan a mejorar la vida de las personas, en especial a mi esposa Yelitza.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por iluminar mi camino y guiarme en este proyecto. A mi esposa, por su amor incondicional y por apoyarme en todo momento. A la Universidad Federal de Paraná por brindarme las herramientas y el conocimiento para llevar a cabo esta investigación. A mi profesor orientador, por su dedicación y orientación valiosa en todo el proceso. A todo el equipo desarrollador, por su colaboración y apoyo en la creación del prototipo. A todos los profesores que me dieron clases durante la maestría, por su sabiduría y experiencia compartida. Y finalmente, a todos los profesionales del área de la salud que nos apoyaron con sus orientaciones y conocimientos durante el desarrollo del sistema. Sin su apoyo, esta disertación no hubiera sido posible. Muchas gracias a todos.

“El que se enamora de la práctica sin ciencia es como el marino que sube al
navío sin timón ni brújula, sin saber con certeza hacia dónde va”
(LEONARDO DA VINCI).

RESUMO

Atualmente, o ensino em cirurgia por videolaparoscopia é pouco acessível, pois é difícil o acesso a esse treinamento, devido a que são poucos os especialistas e a falta de equipamentos específicos que auxiliam no treinamento dessa técnica. Consequentemente, são poucos os centros de ensino no Brasil que possuem equipamentos de treinamento em cirurgia videolaparoscópica. Além disso, um novo cirurgião precisa de muitas horas de prática para atingir o domínio da técnica. Uma possível solução para isso é o treinamento em realidade virtual imersiva, devido a que hoje em dia esses dispositivos são mais acessíveis do que os simuladores atuais. O objetivo deste trabalho é propor um modelo de aplicação da realidade virtual imersiva no ensino pela cirurgia por videolaparoscopia. Neste trabalho, implementa-se o método de pesquisa Design Science, começando com uma revisão bibliográfica sistemática para entender o estado da arte deste tipo de treinamento, posteriormente um sistema imersivo de realidade virtual com controles feitos em manufatura aditiva é idealizado. Em seguida é, desenvolvido e avaliado por ciclos para medir através de testes de usabilidade com especialistas o impacto que esta tecnologia pode ter no treinamento em cirurgia videolaparoscópica, especificamente no desenvolvimento da habilidade de tocar massas com esses instrumentos, que é um dos primeiros passos para esta área de treinamentos. Os resultados achados mostram que o sistema em realidade virtual imersiva avaliado nesta pesquisa tem um grande potencial como modelo de treinamento para desenvolver a habilidade de tocar massas na videolaparoscopia, porém existem muitas outras habilidades necessárias nos procedimentos de videolaparoscopia, que este sistema ainda precisa melhorar.

Palavras-chave: Realidade virtual. Educação. Cirurgia videolaparoscópica.

ABSTRACT

Currently, teaching in laparoscopic surgery is not very accessible, because it is difficult to access this training, due to the few specialists and the lack of specific equipment that helps in the training of this technique. Consequently, there are few teaching centers in Brazil that have laparoscopic surgery training teams. In addition, a new surgeon needs many hours of practice to master the technique. One possible solution to this is immersive virtual reality training, because these devices are now more accessible than current simulators. The objective of this work is to evaluate a model for the application of immersive virtual reality in teaching through laparoscopic surgery. This work implements the Design Science research method, beginning with a systematic bibliographic review to understand the state of the art of this type of training, then an immersive virtual reality system with controls carried out in additive manufacturing is designed, developed and evaluated by cycles. to measure through usability tests with specialists the impact that this technology can have on training in laparoscopic surgery, specifically in the development of the ability to touch masses with these instruments. The results show that the immersive virtual reality system evaluated in this research has great potential as a training model to develop the ability to touch masses in laparoscopy, but there are many other skills required in laparoscopy procedures that this system still needs improvement.

Key-words: Virtual reality. Education. Videolaparoscopic surgery.

RESUMEN

Actualmente la enseñanza en cirugía por laparoscopia es poco accesible, debido a que es difícil acceder a esta formación, por causa de los pocos especialistas y la falta de equipos específicos que ayuden en el entrenamiento de esta técnica. En consecuencia, hay pocos centros de enseñanza en Brasil que cuentan con equipos de entrenamiento en cirugía laparoscópica. Además, un nuevo cirujano necesita muchas horas de práctica para lograr el dominio de la técnica. Una posible solución a esto es el entrenamiento inmersivo de realidad virtual, porque estos dispositivos ahora son más accesibles que los simuladores actuales. El objetivo de este trabajo es proponer un modelo de aplicación de la realidad virtual inmersiva en la enseñanza mediante cirugía laparoscópica. Este trabajo implementa el método de investigación *Design Science*, comenzando con una revisión bibliográfica sistemática para comprender el estado del arte de este tipo de entrenamiento, posteriormente se diseña, desarrolla y evalúa por ciclos un sistema de realidad virtual inmersiva con controles realizados en fabricación aditiva, para medir a través de pruebas de usabilidad con especialistas el impacto que esta tecnología puede tener en la capacitación en cirugía laparoscópica, específicamente en el desarrollo de la capacidad de tocar masas con estos instrumentos, que es uno de los primeros pasos para esta área de entrenamientos. Los resultados muestran que el sistema de realidad virtual inmersiva evaluado en esta investigación tiene un gran potencial como modelo de entrenamiento para desarrollar la capacidad de tocar masas en la laparoscopia, pero hay muchas otras habilidades necesarias en los procedimientos de laparoscopia, que este sistema aún necesita mejorar.

Palabras-clave: Realidad virtual. Educación. Cirugía video laparoscópica.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUJO INICIAL DE ACTIVIDADES RBS.....	22
FIGURA 2 - CADENAS DE BÚSQUEDA	23
FIGURA 3 – FILTRADO DE LOS ARTÍCULOS.....	25
FIGURA 4 - PROPORCIÓN DE PUBLICACIONES POR PAÍS	27
FIGURA 5 – MAPA PALABRAS CLAVE EDUCACIÓN, REALIDAD VIRTUAL, CIRUGÍA LAPAROSCÓPICA.....	27
FIGURA 6 – MAPA PALABRAS CLAVE EDUCACIÓN.....	28
FIGURA 7 – MAPA PALABRA CLAVE CIRUGÍA VIDEO LAPAROSCÓPICA.....	28
FIGURA 8 - PIRÁMIDE DE APRENDIZAJE.....	29
FIGURA 9 - EQUIPO CHC-UFPR CON EL NUEVO EQUIPO	31
FIGURA 10 - EQUIPO DE REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA.....	32
FIGURA 11 - EQUIPO EN BOXTRAINER.....	33
FIGURA 12 - DISTRIBUCIÓN DE MÉDICOS ESPECIALISTAS EN CIRUGÍA GENERAL POR CADA 100.000 HABITANTES.	37
FIGURA 13 - CONSECUENCIAS DÉFICIT FORMACIÓN.....	44
FIGURA 14 - PROPUESTA DE DESARROLLO DE NUEVOS EQUIPOS.....	44
FIGURA 15 – CICLO ETAPAS DE INVESTIGACIÓN EN <i>DESIGN SCIENCE</i>	45
FIGURA 16 – MODELO PROPUESTO.....	46
FIGURA 17 – ETAPAS CICLO 1.....	51
FIGURA 18 – LLUVIA DE IDEAS EN EQUIPO	52
FIGURA 19 – MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO DE VIDEOLAPAROSCOPIA.....	54
FIGURA 20 – INSTRUMENTO CON CONTROL	54
FIGURA 21 – PROTOTIPO DEL ADAPTADOR EN MANUFACTURA ADITIVA	55
FIGURA 22 – AMBIENTE EN REALIDAD VIRTUAL.....	55
FIGURA 23 – TEST DEL SIMULADOR	56
FIGURA 24 – PRUEBA DE CONCEPTO	57
FIGURA 25 – ETAPAS CICLO 2.....	59
FIGURA 26 - TEST DEL SIMULADOR LAPSIM	60
FIGURA 27 - SIMULADOR <i>LAPSIM</i>	61
FIGURA 28 - INTERFAZ INTRO DE EJERCICIO <i>LAPSIM</i>	62
FIGURA 29 - INTERFAZ FIN DEL EJERCICIO <i>LAPSIM</i>	63

FIGURA 30 - MODELO 3D DEL PROTOTIPO DE SOPORTE	64
FIGURA 31 – LUGARES PARA COLOCAR LOS TROCARES	64
FIGURA 32 - PROTOTIPO DE SOPORTE EN MANUFACTURA ADITIVA.....	65
FIGURA 33 – PANTALLA DE TRANSICIÓN SIMULADOR	66
FIGURA 34 – ENTORNO SIMULACIÓN.....	67
FIGURA 35 – VISTA DEL USUARIO	67
FIGURA 36 - TRANSICIÓN CAMBIO DE NIVEL	68
FIGURA 37 – PANTALLA DEL ENTRENAMIENTO.....	68
FIGURA 38 – VARIABLES DEL ENTRENAMIENTO	69
FIGURA 39 - TRANSICIÓN CAMBIO DE NIVEL	70
FIGURA 40 – TEST DE USABILIDAD 1	70
FIGURA 41 - CICLO 3.....	73
FIGURA 42 – MODELO 3D DEL NUEVO SOPORTE.....	74
FIGURA 43 – SOPORTE IMPRESO EN 3D	75
FIGURA 44 – MODELO 3D DEL NUEVO SOPORTE SUPERIOR.....	76
FIGURA 45 – PROTOTIPO 2 ARMADO	76
FIGURA 46 – ESFERAS DE EJE PARA EL SOPORTE	77
FIGURA 47 – TEST DE USABILIDAD 2	78
FIGURA 48 – ETAPAS CICLO 3.....	80
FIGURA 49 – RESINA USADA PARA JUNTAS.....	81
FIGURA 50 – APLICACION DE DUREPOXI EN JUNTA	81
FIGURA 51 – CONTROL CON VERSIÓN 2 DEL ADAPTADOR	82
FIGURA 52 – PROTOTIPO 3 ARMADO	83
FIGURA 53 – TEST DE USABILIDAD 3	83

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN BRASIL POR REGIÓN.	38
GRÁFICO 2 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN BRASIL	38
GRÁFICO 3 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORTE.....	39
GRÁFICO 4 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SURESTE	42
GRÁFICO 5 - CURVA CON NÚMERO DE USUARIOS TEST DE USABILIDAD.....	49
GRÁFICO 6 - COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS 3 TESTS	87
GRÁFICO 7 – RESULTADOS AFIRMACIÓN 1 EN LOS 3 TESTS.....	88
GRÁFICO 8 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 2 EN LOS 3 TESTS.....	89
GRÁFICO 9 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 3 EN LOS 3 TESTS.....	90
GRÁFICO 10 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 4 EN LOS 3 TESTS.....	91
GRÁFICO 11 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 5 EN LOS 3 TESTS.....	92
GRÁFICO 12 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 6 EN LOS 3 TESTS.....	93
GRÁFICO 13 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 7 EN LOS 3 TESTS.....	94
GRÁFICO 14 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 8 EN LOS 3 TESTS.....	95
GRÁFICO 15 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 9 EN LOS 3 TESTS.....	96
GRÁFICO 16 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 10 EN LOS 3 TESTS.....	97

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 - COLECTA DE DATOS.....	24
TABLA 2 - CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN	24
TABLA 3 - REFERENCIAS OBTENIDAS DEL FILTRO 4	25
TABLA 4 - LECCIONES Y NIVELES DE DIFICULTAD.....	62

LISTA DE CUADROS

CUADRO 1 – SÍNTESIS DE EQUIPOS DE SIMULACIÓN	35
CUADRO 2 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORTE.....	39
CUADRO 3 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORDESTE.	40
CUADRO 4 - COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL.....	40
CUADRO 5 - COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SURESTE	41
CUADRO 6 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SUR.....	42
CUADRO 7 - EVOLUCIÓN DE LA COLECISTECTOMÍA EN BRASIL.	43
CUADRO 8 – CUESTIONARIO.....	47
CUADRO 9 - ÍNDICES DE USABILIDAD	48
CUADRO 10 – RESULTADOS TEST 1	71
CUADRO 11 – RESULTADOS TEST 2	78
CUADRO 12 – RESULTADOS TEST 3	84
CUADRO 13 - CONSOLIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS 3 TESTS.....	86

LISTA DE ABREVIATURAS O SIGLAS

RBA	- Revisión Bibliográfica Asistemática
RBS	- Revisión Bibliográfica Sistemática
RV	- Realidad Virtual
RVI	- Realidad Virtual Inmersiva

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN	18
1.1	PROBLEMA	18
1.2	OBJETIVOS	19
1.2.1	OBJETIVO GENERAL.....	19
1.2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	19
1.3	JUSTIFICACIÓN	20
1.4	HIPÓTESIS	20
1.5	ALCANCE DEL TRABAJO	21
2	REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	22
1.1	PROTOCOLO DE REVISIÓN	23
1.2	FUENTES DE COLECTA DE DATOS.....	23
1.3	FILTRADO DE DATOS	24
1.4	TEMAS DE RELEVANCIA	26
1.5	SÍNTESIS DE LOS DATOS.....	29
1.6	LA VIDEO LAPAROSCOPÍA EN BRASIL	36
3	METODO DE INVESTIGACIÓN	45
3.1	CICLO 1 ENTORNO EN REALIDAD VIRTUAL.....	51
3.2	CICLO 2 – DESARROLLO DEL ENTRENAMIENTO BÁSICO.....	58
3.3	CICLO 3, AJUSTES EN SIMULACIÓN Y BASE IMPRESA EN 3D.....	72
3.4	CICLO 4, AJUSTES EN SIMULACIÓN Y BASE IMPRESA EN 3D.....	79
4	ANÁLISIS DE RESULTADOS	86
5	CONCLUSIONES	99
	REFERENCIAS.....	101

1 INTRODUCCIÓN

Según Cavalini et al. (2014) la cirugía video laparoscópica ha revolucionado la medicina en las últimas décadas. Las cirugías comenzaron a realizarse sin necesidad de abrir la cavidad abdominal, teniendo una recuperación más rápida y menos traumática. Con la aparición de esta nueva técnica, también surgió la necesidad y el desafío de capacitar a los cirujanos para adquirir las habilidades necesarias para su práctica, de manera eficiente y segura.

Según Bloom (1956), los objetivos educativos del aprendizaje se dividen en tres dominios: cognitivo, afectivo y psicomotor. En el aprendizaje de la video laparoscopia, el área que más necesita formación y desarrollo es el dominio psicomotor. Pero para eso se necesita de práctica, contar con equipos, instrumentos y personal que ayuden a supervisar adecuadamente la formación, que es muy difícil de encontrar, porque no se tiene personal muy capacitado y los equipos son costosos (NÁCUL 2015).

Sin embargo, desde hace algunos años, las nuevas tecnologías como la realidad virtual se han ido destacando como posibles alternativas para simular entornos reales de forma accesible y económica, donde las instrucciones previamente programadas actúan como un instructor que guía a quienes entran en la simulación. Es por ello que en este trabajo profundizaremos en cómo la realidad virtual inmersiva puede ser un posible medio de entrenamiento útil para la cirugía video laparoscópica.

1.1 PROBLEMA

Según Nácul (2015) existe hoy en Brasil un gran déficit en la formación de video laparoscopia, lo que resulta en la lenta evolución del arte en el país. Según el mismo autor, este hecho se puede atribuir a varios factores:

- Información errónea sorprendente sobre el método incluso por medios de especialistas.
- Contexto profesional de deterioro socioeconómico del médico, desalentado de invertir en actualización.
- Alto costo de equipos, a menudo financiados por el propio médico, en medicina de seguro o atención por el SUS que no pagan lo suficiente para permitir grandes inversiones.

- Falta de conocimientos organizativos y estructurales sobre el método, lo que hace que sea muy difícil comenzar y evolucionar profesionalmente.
- Autosuficiencia y conservadurismo de los cirujanos con viejos "dogmas quirúrgicos"
- Deficiencia cualitativa y cuantitativa de los cursos y programas de residencia médica.
- Aspectos técnicos específicos del aprendizaje que determinan dificultades educativas de resolución compleja.
- Desconexión del proceso evolutivo del método entre especialidades quirúrgicas que repiten las dificultades ya superadas por otras.
- Falta del desarrollo de "escuelas quirúrgicas" dirigidas a la laparoscopia.

Todos estos aspectos conducen a la siguiente pregunta problema.

¿Cómo aplicar la realidad virtual inmersiva para el desarrollo psicomotor de los cirujanos en video laparoscopia, para reducir la cantidad de recursos que se necesitan tradicionalmente para su práctica?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 OBJETIVO GENERAL

Proponer un modelo de aplicación de realidad virtual inmersiva en el entrenamiento de cirugías video laparoscópicas.

1.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Identificar el estado del arte en el entrenamiento de video laparoscopia con realidad virtual.
- Describir la forma de entrenamiento de los cirujanos en video laparoscopia.
- Desarrollar un modelo de aplicación de realidad virtual inmersiva para el entrenamiento en video laparoscopia.
- Hacer tests de usabilidad del sistema propuesto con especialistas.
- Analizar los datos colectados en los tests de usabilidad

- Evaluar la usabilidad del modelo de aplicación de la realidad virtual inmersiva para el entrenamiento en video laparoscopia.

1.3 JUSTIFICACIÓN

Este trabajo busca a través del uso de la realidad virtual inmersiva, permitir optimizar los recursos de la practica psicomotriz en video laparoscopia al profesional médico, que busca esta especialidad.

Se cree que, con la popularización de esta tecnología, el tiempo de las cirugías puede disminuir, porque no habrá tiempo dedicado a la apertura y sutura del paciente. Así, las cirugías tendrán el menor tiempo y se podrán realizar con mayor frecuencia, reduciendo el tiempo de programación de estas, especialmente vía SUS.

Además de que los pacientes con este tipo de procedimiento tienen un tiempo de recuperación más rápido y menos gastos en medicamentos. Lo que disminuye los presupuestos gubernamentales para estas cirugías.

Los resultados obtenidos en esta investigación también podrán servir de base para futuros estudios en el área de diseño para el desarrollo de la formación médica en realidad virtual, permitiendo una mayor adopción de esta tecnología en el área educativa.

1.4 HIPÓTESIS

La hipótesis de este trabajo consiste, en que, con el desarrollo de un sistema en realidad virtual inmersiva, no serán necesarios la misma cantidad de recursos que requiere tradicionalmente la formación en video laparoscopia, ya que, en la simulación en realidad virtual inmersiva, el cirujano podrá practicar a cualquier momento y en cualquier lugar, sin depender de una sala quirúrgica, instrumentos, un instructor, o un paciente, ya que todo esto se encontraría dentro de la simulación. De esta forma el cirujano podría tener un desarrollo psicomotriz inicial con un sistema de realidad virtual inmersiva, lo que le daría más confianza y experiencia previa al momento de entrar a la práctica real.

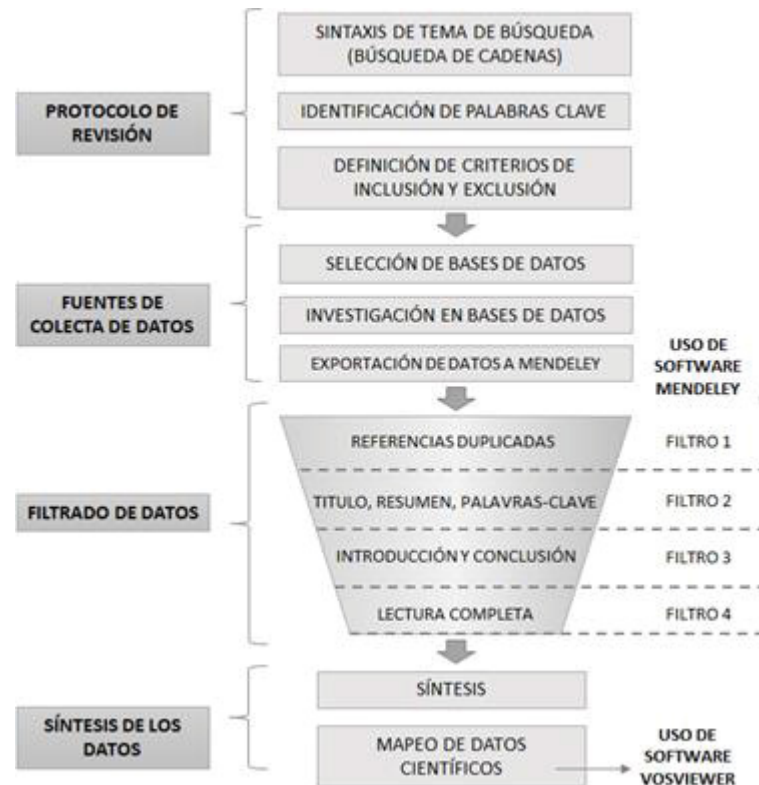
1.5 ALCANCE DEL TRABAJO

Siguiendo el método de *Design Science* el alcance de esta investigación se limita a evaluar la usabilidad del producto desarrollado como posible solución para el desarrollo psicomotriz de los cirujanos en video laparoscopia, más específicamente en la habilidad de tocar masas durante este tipo de procedimiento. Por lo tanto, la evaluación de este producto en esta investigación no pretende evaluar cuantitativamente el nivel de mejora de las habilidades de los cirujanos y si evaluar la usabilidad del producto de forma cualitativa.

2 REVISIÓN DE LA LITERATURA

Con el propósito de identificar el estado del arte de los entrenamientos en video laparoscopia se realizó una revisión bibliográfica sistemática, que siguió las etapas propuestas por Catapan et al. (2021) que son detalladas en la Figura 1,

FIGURA 1 – FLUJO INICIAL DE ACTIVIDADES RBS



FUENTE: Catapan et al. (2021).

Tal como se aprecia en la figura 1, la RBS realizada en este trabajo fue dividida en las siguientes 4 etapas:

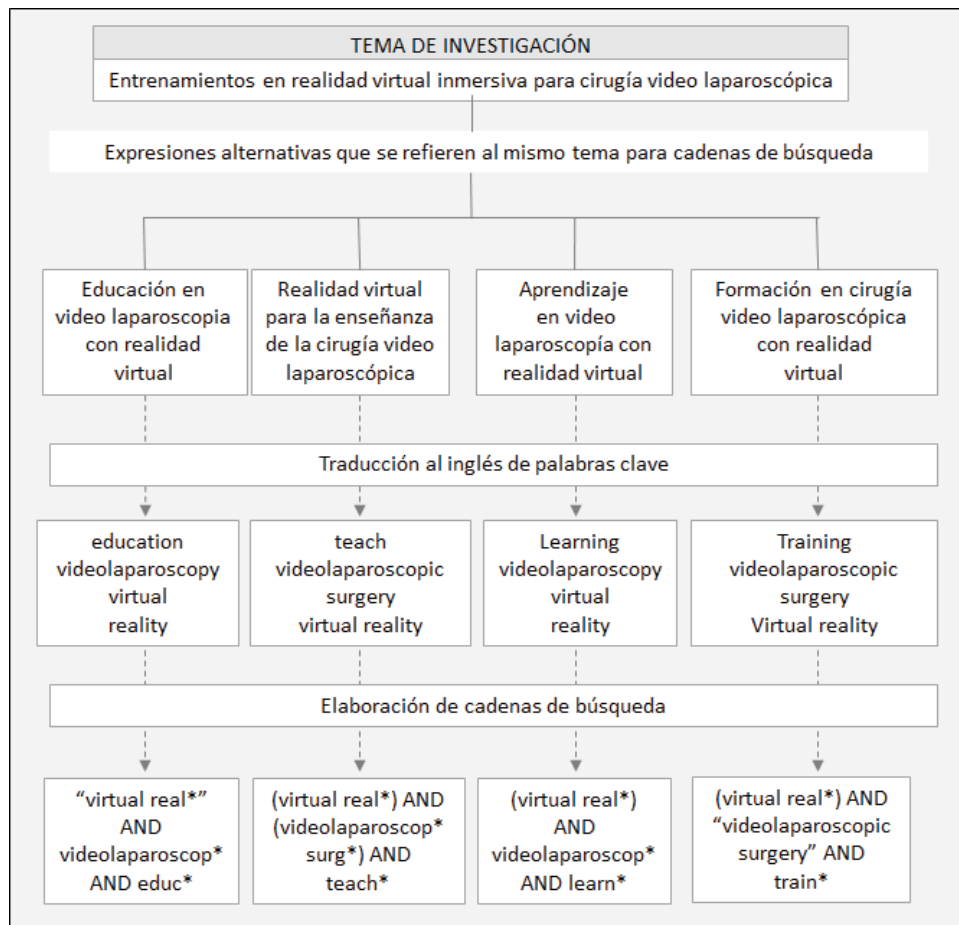
- Etapa 1: protocolo de revisión.
- Etapa 2: recolección de datos.
- Etapa 3: filtrado de datos.
- Etapa 4: síntesis de los datos.

En los siguientes subcapítulos es detallado que fue realizado en cada una de estas etapas.

1.1 PROTOCOLO DE REVISIÓN

Esta etapa, como se aprecia en la Figura 2, comenzó con un estudio de la sintaxis del tema de investigación. Con el propósito de generar diferentes cadenas de búsqueda con el mismo tema en las diferentes bases de datos.

FIGURA 2 - CADENAS DE BÚSQUEDA



FUENTE: El autor (2023).

1.2 FUENTES DE COLECTA DE DATOS

Las bases de datos elegidas para este estudio fueron: Scopus, Web of Science y Pubmed. Estas fueron elegidas porque son algunas de las bases de datos más completas del mundo en número y calidad de artículos.

Como se puede observar en la tabla 1, en cada base de datos se realizó una búsqueda con cada una de las cadenas, obteniendo 126 artículos para Scopus, 85 artículos para Web of Science, 55 artículos para Pubmed. Siendo un total de 266 artículos. La cadena con el mayor número de artículos fue “virtual real*” AND videolaparoscop* AND educ*” con 126 artículos encontrados.

TABLA 1 - COLECTA DE DATOS

Cadenas de búsqueda	Scopus	Web of Science	Pubmed	Total
“virtual real*” AND videolaparoscop* AND educ*	58	37	31	126
(virtual real*) AND (videolaparoscop* surg*) AND teach*	13	15	11	39
(virtual real*) AND videolaparoscop* AND learn*	34	21	1	56
(virtual real*) AND “videolaparoscopic surgery” AND train*	21	12	12	45
Total	126	85	55	266

FUENTE: El autor (2023).

1.3 FILTRADO DE DATOS

Los criterios iniciales de inclusión y exclusión para los documentos que se tuvieron en cuenta para este estudio son presentados en la tabla 2.

TABLA 2 - CRITERIOS DE INCLUSIÓN Y EXCLUSIÓN

	Criterios para inclusión	Criterios para exclusión
Alcance	Investigación que aborda el tema de Aplicación de la realidad virtual en la docencia a través de la video laparoscopia	Investigación que aborda el tema de Aplicación de la realidad virtual sin un enfoque docente a través de la video laparoscopia
Tipo de referencia	Artículos de revistas publicadas, artículos de actas de congresos	Entrevistas publicadas en revistas
Acceso	Trabajos accesibles a través de: (1) Portal de Revistas CAPES en la UFPR; (2) Google Scholar; (3) Portal de editores, gratuito	Trabajos cuya visualización requiere registro pagado u obras cuya legalidad es cuestionable
Idioma	Obras escritas en idiomas dominados por el autor: español, inglés y portugués	Trabajos escritos en idiomas no dominados por el autor
Año	Trabajos publicados en los últimos 5 años	

FUENTE: El autor (2023).

Como proceso de revisión bibliográfica sistemática se implementaron 4 filtros para la selección de los artículos. Estos se aprecian en la figura 3.

FIGURA 3 – FILTRADO DE LOS ARTÍCULOS



FUENTE: El autor (2023).

Primeramente, se hizo el filtrado de todos los artículos recogidos en las bases de datos para excluir referencias duplicadas, de este filtro quedaron 107 artículos. El segundo filtro fue la lectura del título, resumen y palabras clave, de este filtro fueron 58 artículos. El tercer filtro fue la lectura de la introducción y conclusión de los artículos, de este filtro fueron 32 artículos. El cuarto filtro fue la lectura completa de los artículos, de este filtro fueron 21 artículos.

La Tabla 3 muestra cada una de las referencias que quedaron después del proceso de filtrado. Como punto importante a tener en cuenta durante la lectura completa de los artículos, fue que tuvieran como parte del análisis de los resultados el impacto que la realidad virtual o una simulación virtual en computadora pudieran tener en el proceso educativo en cirugía video laparoscópica.

TABLA 3 - REFERENCIAS OBTENIDAS DEL FILTRO 4

(continúa)

NÚMERO	REFERENCIAS
1	ALVAREZ et al. (2020)
2	CHHEANG et al. (2020)
3	ELESSAWY et al. (2021)
4	FRIEDRICH et al. (2018)

TABLA 4 - REFERENCIAS OBTENIDAS DEL FILTRO 4

	(conclusión)
5	GASPERIN, ZANIRATI y CAVAZZOLA (2018)
6	GUEDES et al. (2019)
7	HAGELSTEEN et al. (2019)
8	HASAN e IQBAL (2017)
9	HOOPES et al. (2020)
10	KHAN et al. (2017)
11	KHOO et al. (2021)
12	KORZENIOWSKI et al. (2017)
13	KOSIERADZKI et al. (2020)
14	LESCH et al. (2020)
15	ÖSTERBERG et al. (2019)
16	PORTO et al. (2020)
17	SATTAR et al. (2019)
18	SIRIMANNA y GLADMAN (2017)
19	VAPENSTAD et al. (2017)
20	YIASEMIDOU et al. (2017)
21	ZAHIRI et al. (2018)

FUENTE: El autor (2023).

1.4 TEMAS DE RELEVANCIA

De acuerdo con las palabras claves obtenidas en los resultados de búsqueda de las bases de datos, fue realizado un mapa con las palabras clave obtenidas del filtrado de los datos de los artículos, como se muestra en las figuras 4 a 7.

Como guía para interpretar estas imágenes, hay que tener en cuenta que existe una relación entre el tamaño de los círculos, con el número de publicaciones. Por lo tanto, cuanto mayor sea el tamaño del círculo de una variable, mayor será el número de publicaciones que la componen y viceversa.

La Figura 4 muestra que el país con el mayor número de artículos publicados es en este tema es Estados Unidos, y este país tiene muchas citas de otros países como se puede ver en las redes de conexión. Por lo tanto, la búsqueda en inglés en las bases de datos tiene mucha coherencia, ya que la mayoría de los artículos que hacen referencia a este tema están publicados en inglés.

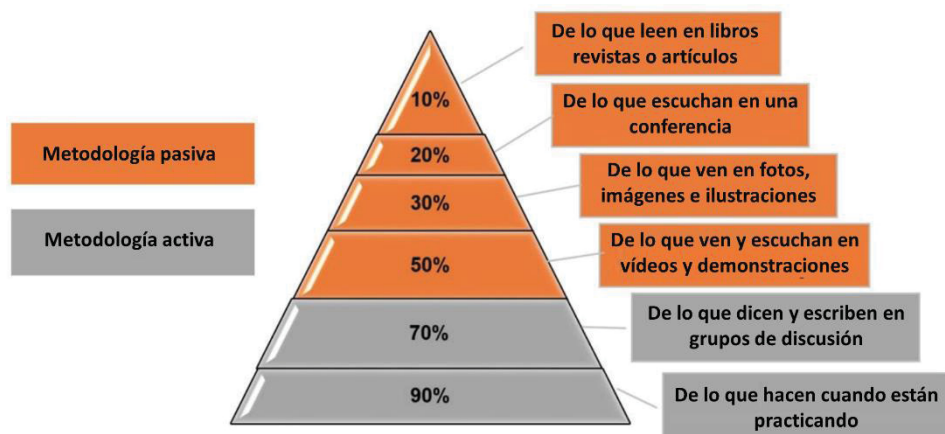
1.5 SÍNTESIS DE LOS DATOS

De acuerdo con la RBS realizada, se puede tomar como base la información sobre algunos puntos importantes de esta investigación, como la importancia de la realidad virtual en el entrenamiento, cuáles son los equipos actuales y sus rangos de precios.

Dale (1969, apud Leite (2018)) señaló que, a través de actividades prácticas, hay una retención de conocimiento en el 90% en el aprendizaje, como se muestra en la Figura 8. Lo que Leite (2018) categoriza como metodología activa, donde se trata de una estrategia que sitúa a los alumnos como principales agentes de su aprendizaje.

Por lo tanto, es evidente que, en el uso de la realidad virtual, el especialista que se está formando, utiliza la práctica de la cirugía aumentando su dominio psicomotor de una manera eficiente.

FIGURA 8 - PIRÁMIDE DE APRENDIZAJE.



FUENTE: Dale (1969) e Leite (2018).

En cuanto a la eficiencia en la formación médica, Catapan et al (2021) realizaron una investigación bibliográfica sobre el tema, inicialmente con más de 200 artículos y luego con todos los filtros de una RBS reducidos a 21 en el área, llegaron a algunos argumentos de la literatura, que validan el uso de esta tecnología digital en el campo médico. A saber:

- La realidad virtual mejora la retención del conocimiento en un 80% (SANKARANARAYANAN ET AL, 2018);

- Los estudiantes que utilizan la realidad virtual en la formación, tienen un 275% más de confianza para actuar de acuerdo con lo que aprenden después del curso (CHAI ET AL, 2017);
- El entrenamiento en realidad virtual es, en promedio, cuatro veces más rápido en comparación con él en el aula (CHAI ET AL, 2017);
- En un entrenamiento de extinción de incendios en una sala de operaciones, los estudiantes cuando se entrenan con realidad virtual son 250% mejores en comparación con el mismo curso impartido con lectura y / o conferencia tradicional (SANKARANARAYANAN ET AL, 2018);
- Cuando los estudiantes utilizan la realidad virtual en la formación, están un 400% más enfocados que los estudiantes con metodologías tradicionales (CHAI ET AL, 2017);
- Las personas entrenadas por realidad virtual tuvieron menores errores de rendimiento y mayor precisión, en comparación con las entrenadas por enfoques convencionales (SANKARANARAYANAN ET AL, 2018);
- Los estudiantes que usan la realidad virtual están aproximadamente cuatro veces más conectados emocionalmente con el contenido que los estudiantes en el aula (CHAI ET AL, 2017);
- La simulación de realidad virtual mejora significativamente el rendimiento del aprendizaje en comparación con el entrenamiento de simulación basado en pantalla (GUTIÉRREZ ET AL, 2007).

Todavía hay otros estudios, como en la simulación de realidad virtual, realizados de manera similar a la simulación basada en maniquí de alta fidelidad, para evaluar las habilidades de comunicación a los profesionales de la salud. En esta capacitación, los especialistas participan en el tratamiento de pacientes que son víctimas de paro cardiorrespiratorio o que tienen emergencias cardiovasculares - ACLS. Según Katz et al (2020), el costo de la simulación de realidad virtual para el entrenamiento ACLS también fue un 83% más bajo que el costo de la simulación basada en maniquíes. Además, según los mismos autores, el entrenamiento ACLS, basado en realidad virtual, requirió la mitad del tiempo para que los estudiantes los completaran y solo el 25% del equipo necesitaba realizar simulaciones de realidad virtual, en comparación con la simulación tradicional de ACLS.

Cuando se trata de entrenamiento quirúrgico por video laparoscopia, muchos estudios muestran otros equipos o simuladores, donde no hay inmersión en el entrenamiento. Como ya se discutió en esta propuesta de investigación, la retención de conocimiento será menor que en comparación con el entrenamiento con Realidad Virtual.

Los simuladores de cirugía video laparoscópica tienen en algunas instituciones educativas, como en universidades de renombre con cursos de medicina en Brasil. Sin embargo, estos equipos comerciales pueden alcanzar cientos de miles de reales, lo que hace imposible que otras instituciones los adquieran. Aun así, la cantidad de estos equipos es muy baja y a menudo solo hay uno para todo el curso de medicina, lo que restringe el uso para todos los estudiantes.

Según la UFPR (2021), el Hospital das Clínicas - CHC-UFPR, adquirió en abril de este año, un equipo de entrenamiento por video laparoscopia (Figura 9), no inmersivo, que tuvo una inversión de aproximadamente R\$ 1.200.000,00. Aún así, como informa el cirujano general del CHC-UFPR: "Es un impacto muy grande porque el residente puede practicar mucho antes de tocar al paciente. La percepción tanto visual como táctil es prácticamente igual a una cirugía real. Puedes sentir que estamos tocando las estructuras, haciendo un corte o una sutura. Es como una situación real".

FIGURA 9 - EQUIPO CHC-UFPR CON EL NUEVO EQUIPO



FUENTE: UFPR (2021)

Otros equipos similares a los que se muestran en la Figura 9 se utilizan en todo el mundo. Un estudio reciente presentado por Elessawy et al (2021) presenta un estudio de la evolución de los equipos simuladores de cirugía laparoscópica en realidad virtual. Sin embargo, señalan que esta tecnología VR no es inmersiva. El simulador utilizado en este estudio está siendo presentado en la Figura 10 y también puede alcanzar alrededor de €100,000.00 (en Europa), que importando a Brasil también estaría cerca de los equipos comprados por CHC-UFPR.

FIGURA 10 - EQUIPO DE REALIDAD VIRTUAL NO INMERSIVA

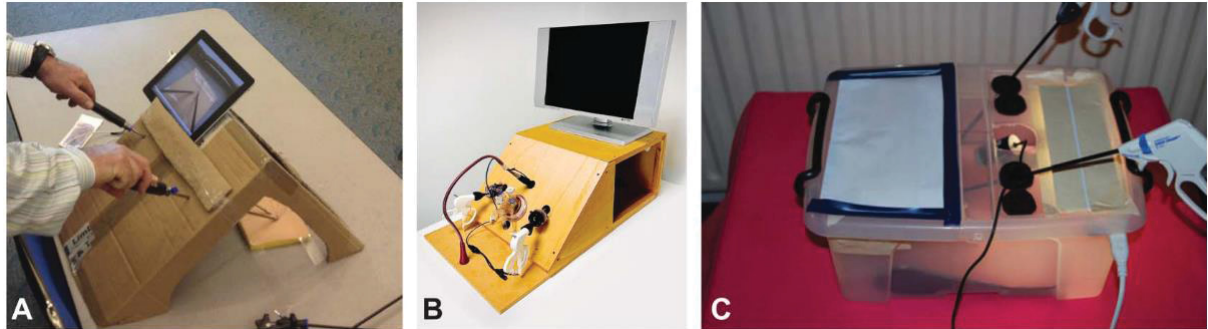


FUENTE: Elessawy et al (2021)

Por supuesto, el equipo de simulador de cirugía laparoscópica se encuentra con precios más bajos que los presentados en las Figuras 9 y 10. Hoopes et al (2021) presentan simuladores de laparoscopia en boxtrainer, que permiten procedimientos básicos de cirugía video laparoscópica, como suturas, cortes o clips, a través de instrumentos de entrenamiento reales que interactúan con piel sintética u otros

objetos, que se encuentran en la cavidad de una caja. Algunos ejemplos se pueden ver en la Figura 11.

FIGURA 11 - EQUIPO EN BOXTRAINER



FUENTE: Hoopes et al (2021)

Los equipos presentados por Hoopes et al (2021) no tienen un costo tan alto, comparando como equipos de las Figuras 9 y 10. Según estos autores, estos equipos oscilan entre US\$70 y US\$2,000.00 en el precio de fuera del país, sin contar la parte de hardware como una tableta en algunos casos. Sin embargo, se destaca la brecha con las tecnologías digitales recientes que obtienen una retención de conocimiento muy grande, como la realidad virtual inmersiva, con equipos más simples y de menor costo.

Corroborando lo anterior, en este capítulo también se destacan algunas características esenciales que tienen los sistemas de entrenamiento en video laparoscopia. Entre ellas se encuentran:

- Aprendizaje ubicuo: según Álvarez (2020) se refiere a la posibilidad que ofrece el dispositivo de ser utilizado para aprender y entrenar en cualquier momento y en cualquier lugar. Esta característica es esencial para lo que se pretende en esta investigación, con el fin de proporcionar una mayor accesibilidad al cirujano para su desarrollo psicomotor en cirugía laparoscópica.

- Retroalimentación háptica: es la sensibilidad al tacto que ofrece el instrumento simulador, al realizar una acción al tocar otro objeto dentro de la virtualidad, pudiendo ser órganos, piel, agujas, entre otros. Esta característica busca generar mayor realismo en la realidad virtual, generando una fuerza contra el movimiento dentro de la simulación.

- Instrumentos: es el controlador con el que el cirujano interactúa con la simulación, la ventaja que esto ofrece es su similitud en cuanto al funcionamiento de

un real. La característica de la retroalimentación háptica no es inherente a ella, por lo que muchos simuladores pueden tener los instrumentos y al mismo tiempo no tienen retroalimentación háptica. Para este proyecto de investigación, la implementación de un instrumento como controlador puede ser de gran importancia, porque según Hasan (2017) desarrolla la coordinación visual manual del cirujano, la sensación de profundidad y la capacidad de trabajar en un espacio confinado a través de instrumentos intuitivamente no articulados.

- Instrucciones de audio: según Hasan (2017) corresponde a la orientación proporcionada en voz de audio dentro de la simulación, generando mayor similitud con un instructor real dentro de la simulación.

- Instrucciones visuales: según Khan (2017) se refiere a los efectos visuales que pueden guiar al cirujano sobre cómo realizar el procedimiento y al mismo tiempo alertarlo si toca un objeto equivocado.

- Gafas de realidad virtual: es el dispositivo que permite entrar en realidad virtual inmersiva, ya que es un hardware que cubre el campo visual de los ojos en una simulación de 360 grados que en este caso corresponde al quirófano donde se realiza el procedimiento. Según Kozieradzki (2020) proporcionan a los estudiantes una experiencia holográfica que genera un aprendizaje eficiente en medicina. Por lo tanto, un maestro no necesita estar presente personalmente en la clase para garantizar un aprendizaje efectivo.

- Software: Es el programa que genera la realidad virtual, sea atractiva o no. Según Hoopes (2020) esta característica ha presentado grandes ventajas sobre simuladores que no cuentan con software como los boxtrainers, pues con el software es posible recrear múltiples escenarios quirúrgicos además de ofrecer múltiples instrucciones sobre cómo realizar el procedimiento de forma interactiva. Disminuyendo así la curva de aprendizaje.

- Desempeño de la tarea: Según Chheang (2020), esto corresponde a los indicadores de desempeño del cirujano durante la simulación, como la duración del procedimiento y el número de errores, entre otros que pueden considerarse relevantes dentro de cada procedimiento. Este tipo de característica se asocia comúnmente con el software, pero aun así hay simuladores que no lo tienen, o que lo tienen poco desarrollado.

A partir de estos conceptos, se elaboró una tabla para sintetizar los datos encontrados en las referencias de RBS seleccionadas y comprender cómo es el estado del arte del entrenamiento en cirugía video laparoscópica en términos del equipo de simulación utilizado y los procedimientos quirúrgicos evaluados. Como se presenta en el cuadro 1.

CUADRO 1 – SÍNTESIS DE EQUIPOS DE SIMULACIÓN

REF.	EQUIPAMIENTO DE SIMULACIÓN PARA ENTRENAMIENTO EN ENDOSCOPIÁ																		PROCEDIMIENTO QUIRÚRGICO EVALUADO										
	TIPO DE SIMULADOR			NOMBRE												CARACTERÍSTICAS			APENDICECTOMIA	COLECISTECTOMIA	SALPINGECTOMIA	TREIN. BASICO	VÁRIOS PROCED.						
	RV INMERSIVA	RV NO INMERSIVA	BOXTRAINER	BT N/M	HTC VIVE	LAPSIM	LAPMENTOR	NOVISE	PORTCAS	ROBOTIX	SIMBALL BOX	SIMISGEST-VR	SMARTSIM	TAKE HOME BT	TIPS SIMULATION	MULTIPLES N/M	APREND. UBICUO	RETROALIM. HÁPTICA						INSTRUMENTOS	INSTRUCCIONES AUDIO	INSTRUCCIONES VISUALES	GAFAS RV	SOFTWARE	DESEMPEÑO DE TAREAS
1		X										X					X		X		X		X					X	
2	X				X												X	X	X		X	X	X						X
3		X				X												X	X		X		X	X			X		
4		X					X											X	X		X		X	X			X		
5		X					X											X	X		X		X	X			X		
6		X	X	X		X	X									X	X	X	X		X		X	X					X
7		X				X												X	X		X		X	X					X
8		X											X						X		X		X	X					X
9		X	X	X		X	X									X	X	X	X		X		X	X					X
10		X											X						X		X		X	X					X
11		X					X											X	X		X		X	X		X			
12		X						X										X	X		X		X	X		X			
13	X									X								X	X		X	X	X	X					X
14		X													X			X	X		X		X	X					X
15			X								X								X		X			X			X		
16		X				X												X	X		X		X	X					X
17	X															X	X				X	X							X
18		X					X											X	X		X		X	X	X				
19		X				X												X	X		X		X	X		X			
20		X	X											X		X	X	X	X		X		X	X		X			
21		X						X									X		X		X		X	X					X
TOTAL	3	17	4	2	1	6	6	1	1	1	1	1	2	1	1	4	7	15	20	0	21	3	19	18	1	6	1	2	11

FUENTE: El autor (2023).

Según la revisión, se verifica que la aplicación de la realidad virtual inmersiva en el entrenamiento en cirugía video laparoscópica todavía presenta grandes lagunas no solo en su poco uso en la formación médica, sino también en cuanto a sus características, porque fue posible evidenciar la ausencia de desempeño de tareas, una característica más común en simuladores de realidad virtual no inmersiva, Pero aun así todos los simuladores mostraron ausencia en la aplicación de instrucciones de audio. A pesar de esto, el simulador de realidad virtual inmersiva se presenta como uno de los más completos en términos de sus características, ofreciendo aprendizaje

ubicuo, retroalimentación háptica, instrumentos, instrucciones visuales, gafas de hardware y software. Según Hoopes (2020) la suma de estas características hace que la simulación de realidad virtual sea útil para el entrenamiento; Sin embargo, los controles siguen siendo caros, esto debido a que componentes como instrumentos con retroalimentación háptica, generan un alto costo en la fabricación de simuladores, que van desde los US\$ 2,000 hasta los US\$ 100,000. Esto hace que sea más difícil para el público acceder a él. Según Elessawy (2021), la retroalimentación háptica es bastante controvertida en la literatura en cuanto a los resultados obtenidos al momento de ser evaluada por especialistas, porque en las pruebas no se notó mucha diferencia entre entrenar con retroalimentación háptica y sin retroalimentación háptica. En base a todo esto, se evidencia una brecha en un sistema de entrenamiento de realidad virtual inmersiva para cirugía laparoscópica que posea las características de controles en forma de instrumentos sin retroalimentación háptica, con el objetivo de reducir los costos de fabricación. De esta manera, profundizará en las características que se observaron como faltantes en otros simuladores de este tipo, esto permitiría en una primera versión desarrollar un software de realidad virtual inmersiva con controles sin retroalimentación háptica. Se propone para futuros estudios el desarrollo de un sistema de retroalimentación háptica con componentes electrónicos que pueda proporcionar precios más asequibles al mercado y que sea evaluado por expertos para medir su similitud con la realidad.

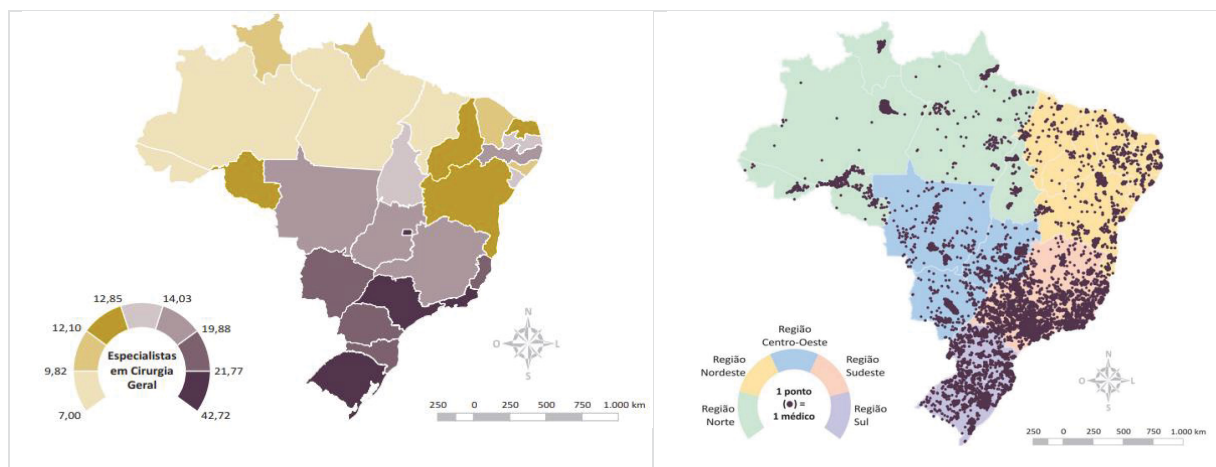
En relación a procedimiento quirúrgicos, no se evidencia la aplicación de la colecistectomía en realidad virtual inmersiva, mientras que, en realidad virtual no inmersiva, se evidencia este tipo de procedimiento. Según Khoo (2021), la colecistectomía es un procedimiento quirúrgico completo para aprender la cirugía video laparoscópica. Para comprender la relación de este procedimiento con la relevancia del sistema de entrenamiento de realidad virtual inmersiva a desarrollar, se realiza una revisión asistemática de la literatura sobre su evolución en Brasil a lo largo de los años, compuesta principalmente por datos tomados del SUS, Datasus (2021) y el estudio de Demografía Médica en Brasil 2020, Scheffer et al. (2020).

1.6 LA VIDEO LAPAROSCOPIA EN BRASIL

Actualmente, en Brasil, existen desigualdades en las regiones en cuanto al número de médicos especialistas en cirugía laparoscópica. Esto se debe al difícil

acceso a la formación para este tipo de cirugía, evidenciado por Scheffer et al. (2020), que aborda el número de médicos según la proporción de habitantes en diferentes regiones brasileñas. En este estudio, muestra que mientras en algunos hay gran cantidad de médicos, en otros hay un déficit. La mayoría se concentran en capitales como el sudeste y el sur, donde hay mayor acceso a la educación y mejores condiciones para los profesionales de la salud, como se puede ver en la Figura 12.

FIGURA 12 - DISTRIBUCIÓN DE MÉDICOS ESPECIALISTAS EN CIRUGÍA GENERAL POR CADA 100.000 HABITANTES.

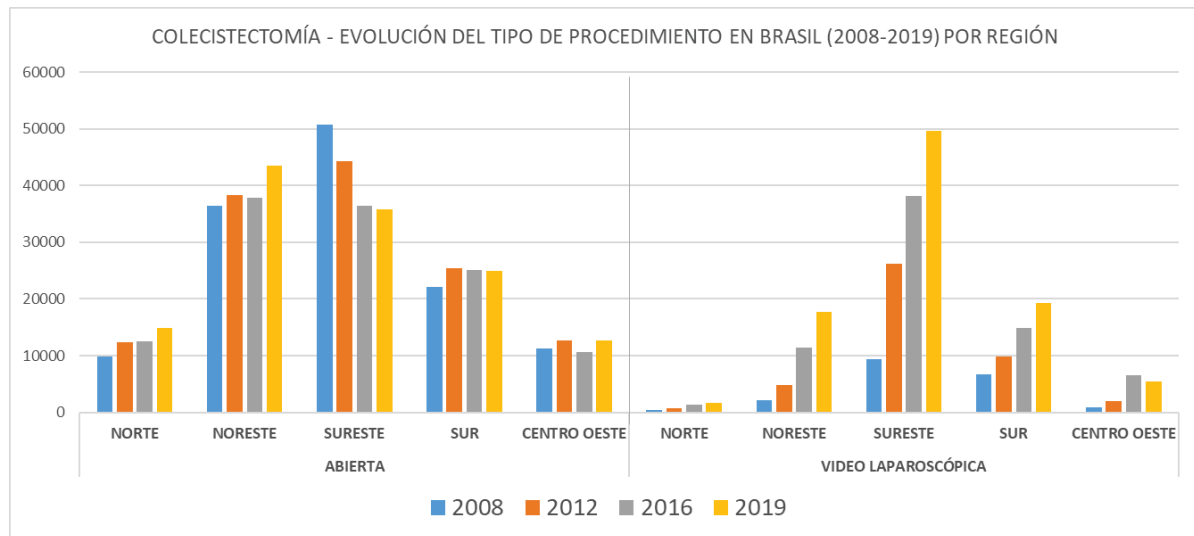


FUENTE: Scheffer et al. (2020)

Es importante destacar que tanto en la distribución de 1a – de médicos especialistas en cada estado como en la 1b – distribución de médicos especialistas en regiones brasileñas, se encuentran informaciones recientes de demografía médica en Brasil (Scheffer et al., 2020), sin embargo, de 2019 y antes de la pandemia de COVID-19.

Según Del Castillo (2021), en 1985 se realizó la primera colecistectomía laparoscópica en Alemania por el Dr. Erich Mühe, allanando el camino para la práctica de este nuevo procedimiento en todo el mundo. Según Armas (2019) en 1990, la colecistectomía laparoscópica fue practicada por primera vez en Brasil por el médico Thomas Szegö en la ciudad de São Paulo. Así, a lo largo de los años esta práctica se ha expandido principalmente en el sudeste y sur de Brasil, debido al mayor acceso de los médicos para estudiar y graduarse en esas regiones, como se puede ver en el gráfico 1.

GRÁFICO 1 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN BRASIL POR REGIÓN.

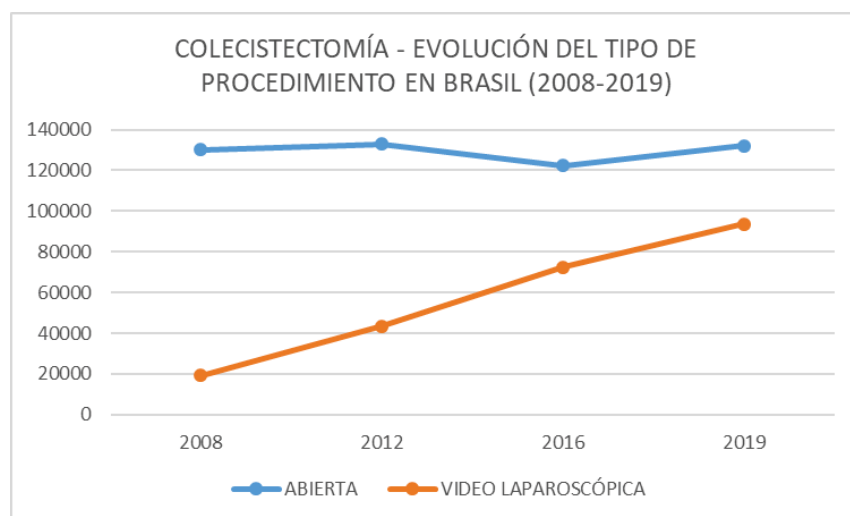


FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

El gráfico 1 muestra cómo afecta esta diferencia en los médicos en las regiones en un procedimiento quirúrgico. El uso de la cirugía laparoscópica en la colecistectomía ha aumentado en general en los últimos 12 años en Brasil, pero sigue siendo notable cómo la disparidad en la educación médica genera una gran brecha en la aplicación de este procedimiento en la región norte de Brasil.

El número de cirugías de colecistectomía abierta se ha mantenido constante en los últimos años. Por otro lado, las cirugías video laparoscópicas han ido aumentando durante este período, como se muestra en el gráfico 2.

GRÁFICO 2 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN BRASIL



FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

A pesar del aumento general en todo Brasil, la colecistectomía por laparoscopia fue diferente en cada región. Por lo tanto, en diferentes tablas, se compara a continuación como fue su evolución en las diversas regiones de Brasil.

La región que presentó la menor evolución en esta técnica fue la región Norte, como se muestra en el Gráfico 1. Donde en 2008 la práctica de la colecistectomía laparoscópica correspondió a solo el 3% del total de colecistectomía realizada en la región, aumentando en un período de 11 años al 10%, en relación con el número total de colecistectomías realizadas en la región en 2019. Esto corresponde al menor aumento en relación con las diferentes regiones brasileñas. En el cuadro 2 se compara la evolución entre el procedimiento abierto y por video laparoscopia.

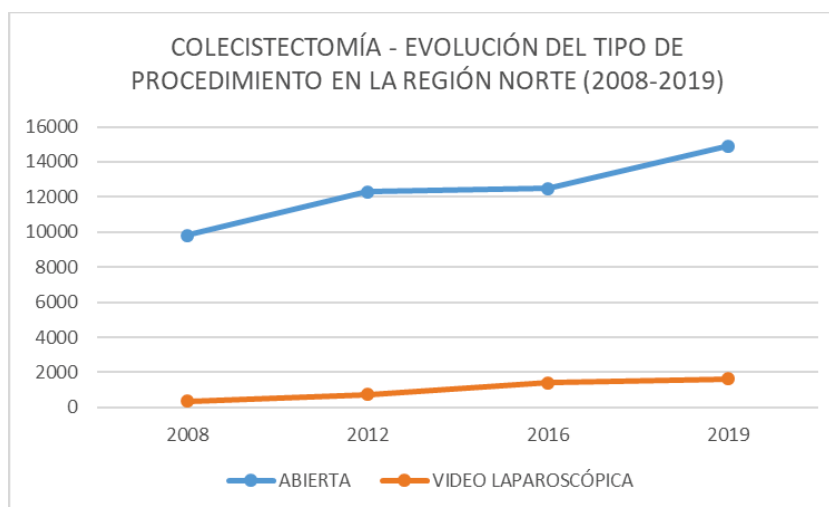
CUADRO 2 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORTE.

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN LA REGIÓN NORTE (2008-2019)					
AÑO	ABIERTA	%	VIDEO LAPAROSCÓPICA	%	TOTAL
2008	9821	97%	346	3%	10167
2012	12292	94%	731	6%	13023
2016	12493	90%	1391	10%	13884
2019	14916	90%	1643	10%	16559

FUENTE: Adaptado de Datasus (2021).

Cuando se aprecia la evolución de las cirugías, abiertas y por laparoscopia, en la región Norte de Brasil, se destacan estos números que se aprecia en el gráfico 3.

GRÁFICO 3 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORTE.



FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

En la región Nordeste en 2008, la práctica de colecistectomías laparoscópicas correspondió a 6% del total realizado en la región, aumentando en un período de 11 años a 29% en relación con el número total de colecistectomías realizadas en la región en 2019. Estos números se muestran en el cuadro 3.

CUADRO 3 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN NORDESTE.

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN LA REGIÓN NORDESTE (2008-2019)					
AÑO	ABIERTA	%	VIDEO LAPAROSCÓPICA	%	TOTAL
2008	36383	94%	2159	6%	38542
2012	38301	89%	4873	11%	43174
2016	37841	77%	11372	23%	49213
2019	43585	71%	17749	29%	61334

FUENTE: Adaptado de Datasus (2021).

En la región del Medio Oeste en 2008, la práctica de la colecistectomía laparoscópica correspondió al 7% de todas las cirugías realizadas en la región, aumentando en 11 años al 30% en 2019. Esta evolución puede observarse en el cuadro 4.

CUADRO 4 - COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN LA REGIÓN CENTRO-OCCIDENTAL (2008-2019)					
AÑO	ABIERTA	%	VIDEO LAPAROSCÓPICA	%	TOTAL
2008	11262	93%	796	7%	12058
2012	12743	87%	1894	13%	14637
2016	10632	62%	6596	38%	17228
2019	12722	70%	5445	30%	18167

FUENTE: Adaptado de Datasus (2021).

En esta región, también se puede ver cómo la colecistectomía abierta ha disminuido a lo largo de los años, mientras que la colecistectomía laparoscópica se vuelve más relevante. Este hecho es interesante, porque es la única región brasileña que demuestra esta inflexión.

Este aumento en relación con la región Norte tuvo un mayor impacto, pero aún no muy expresivo. Destaca el impacto de las ventajas de las cirugías laparoscópicas, según Fernandes (2021).

- Minimización del trauma quirúrgico.
- Disminución de la duración de la estancia hospitalaria durante un máximo de tres días.
- Menores posibilidades de infección.
- Mejor postoperatorio con el paciente volviendo a las actividades con treinta días.
- Menor morbilidad y mortalidad.
- Mejor estética de la curación.

Sin embargo, estos números son mejores en las regiones sur y sureste, como se puede ver a continuación. En la región Sureste, en 2008, la práctica de la colecistectomía laparoscópica correspondió a 16% del total de cirugías realizadas en la región, aumentando en un período de 11 años a 58% en 2019, como se puede observar en el cuadro 5.

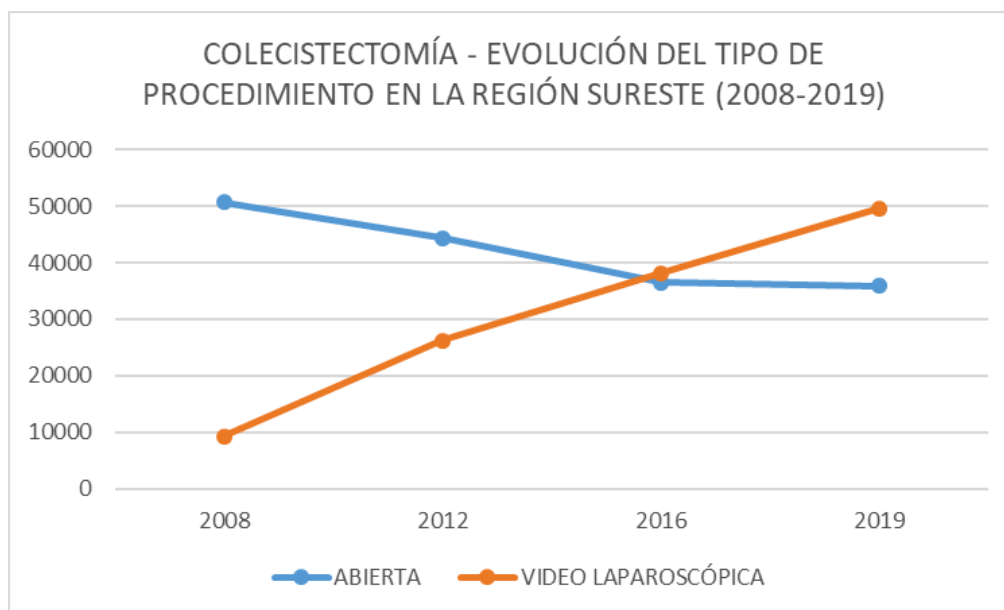
CUADRO 5 - COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SURESTE

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN LA REGIÓN SURESTE (2008-2019)					
AÑO	ABIERTA	%	VIDEO LAPAROSCÓPICA	%	TOTAL
2008	50675	84%	9305	16%	59980
2012	44302	63%	26224	37%	70526
2016	36418	49%	38144	51%	74562
2019	35858	42%	49616	58%	85474

FUENTE: Adaptado de Datasus (2021).

La región sudeste ha tenido la mayor aceptación en cuanto a la práctica de la colecistectomía por laparoscopia, y se puede decir que ha superado la práctica de la colecistectomía abierta durante años. Pero esto puede deberse a que esta región tiene una mayor accesibilidad en términos de este tipo de capacitación. El gráfico 4 muestra cómo la laparoscopia se ha vuelto relevante a lo largo de los años en su implementación para este procedimiento.

GRÁFICO 4 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SURESTE



FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

En la región Sur en 2008, la práctica de la colecistectomía laparoscópica correspondió al 23% del total de colecistectomías realizadas en la región, aumentando en un período de 11 años al 44% en 2019. La evolución de estos números se puede ver en el cuadro 6.

CUADRO 6 – COLECISTECTOMÍA EN LA REGIÓN SUR.

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN LA REGIÓN SUR (2008-2019)					
AÑO	ABIERTA	%	VIDEO LAPAROSCÓPICA	%	TOTAL
2008	22049	77%	6671	23%	28720
2012	25406	72%	9796	28%	35202
2016	25039	63%	14881	37%	39920
2019	24890	56%	19279	44%	44169

FUENTE: Adaptado de Datasus (2021).

Aunque la región Sur es la que más aplicó esta técnica en 2008 en todo Brasil, no puede superar a la región Sudeste, con la práctica en esta región de colecistectomía abierta y video laparoscópica hasta 2019, en una proporción muy similar.

Con esto, toda esta información se consolidó en el cuadro 7 para comparar el porcentaje de colecistectomías realizadas anualmente por región en relación con el

total del país. Para así analizar en qué región se está realizando el mayor número de colecistectomías abiertas y laparoscópicas.

CUADRO 7 - EVOLUCIÓN COLECISTECTOMÍA EN BRASIL.

COLECISTECTOMÍA - EVOLUCIÓN DEL TIPO DE PROCEDIMIENTO EN BRASIL (2008-2019) POR REGIÓN						
REGIÓN/AÑO	ABIERTA					
	NORTE	NORESTE	SURESTE	SUR	CENTRO OESTE	ABIERTO TOTAL
2008	9821	36383	50675	22049	11262	130190
%	8%	28%	39%	17%	9%	100%
2012	12292	38301	44302	25406	12743	133044
%	9%	29%	33%	19%	10%	100%
2016	12493	37841	36418	25039	10632	122423
%	10%	31%	30%	20%	9%	100%
2019	14916	43585	35858	24890	12722	131971
%	11%	33%	27%	19%	10%	100%
REGIÓN/AÑO	VIDEO LAPAROSCÓPICA					
	NORTE	NORESTE	SURESTE	SUR	CENTRO OESTE	VÍDEO TOTAL
2008	346	2159	9305	6671	796	19277
%	2%	11%	48%	35%	4%	100%
2012	731	4873	26224	9796	1894	43518
%	2%	11%	60%	23%	4%	100%
2016	1391	11372	38144	14881	6596	72384
%	2%	16%	53%	21%	9%	100%
2019	1643	17749	49616	19279	5445	93732
%	2%	19%	53%	21%	6%	100%

FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

El cuadro 7 muestra que la región Norte se mantiene constante en el 2% del número total de laparoscopías realizadas por año. Este aumento es bajo en comparación con otras regiones que muestran un aumento en este tipo de procedimiento. La región sureste es la que más colecistectomías laparoscópicas tiene, superando a la colecistectomía abierta en 2016.

Se advierte que actualmente existe una gran dificultad para acceder a estas especialidades quirúrgicas, por razones de ubicación y en consecuencia recursos financieros, ya que estas capacitaciones tienen un alto costo. Así, el problema de la dificultad para acceder a la educación en especialidades quirúrgicas también termina

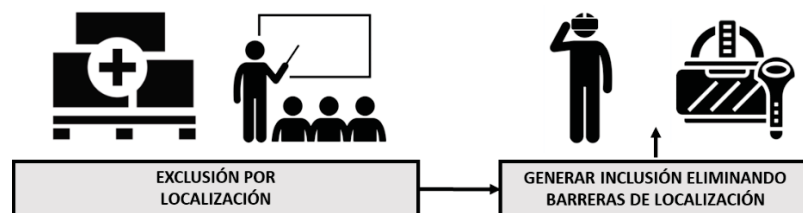
generando el problema de la dificultad para acceder a tratamientos médicos especializados. Como se puede ver en la Figura 13.



FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

Según (MERCADO e CATAPAN, 2022) una posible solución al difícil acceso a las especialidades médicas es un sistema de capacitación de bajo costo. En este caso, una formación a través de un equipo que utiliza virtualización inmersiva puede eliminar las barreras de localización y así cumplir con cualquier región para la formación en cirugía video laparoscópica. El propósito de este equipo se ilustra en la Figura 14.

FIGURA 14 - PROPUESTA DE DESARROLLO DE NUEVOS EQUIPOS



FUENTE: Adaptado de Mercado e Catapan (2022)

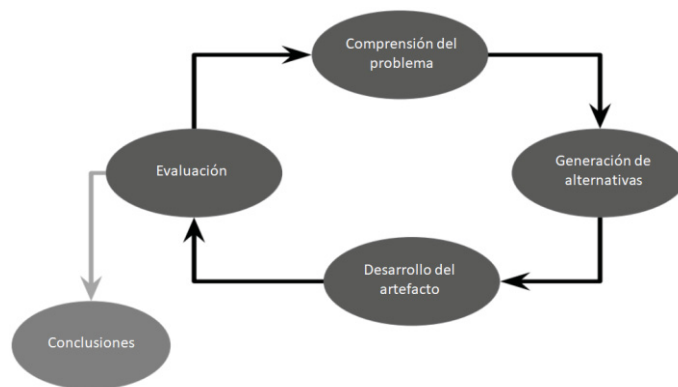
Consideraciones sobre el capítulo

En este capítulo se muestran los diferentes sistemas de entrenamiento en realidad virtual que existen en el mercado, sus características, valores aproximados y los beneficios que aportan al entrenamiento en cirugía video laparoscópica. También se evidenció la evolución dispar de este tipo de técnica en las diversas regiones de Brasil y los beneficios que la realidad virtual inmersiva podría traer como una forma de cerrar esta brecha. En el próximo capítulo, se presenta la ideación de un sistema de realidad virtual inmersiva, que es desarrollado y testado con especialistas a través de ciclos iterativos a medida que se evalúa su usabilidad.

3 METODO DE INVESTIGACIÓN

Como fue explicado en el capítulo 2 el desarrollo de esta investigación en su primera fase aplicó una revisión bibliográfica sistemática para identificar de forma integral el estado del arte en educación en cirugía video laparoscópica con realidad virtual. Para luego implementar *Design Science*. Según Santos (2018) es un método de investigación donde se desarrolla y evalúa la eficiencia y efectividad de un artefacto (producto, servicio o sistema) para resolver una categoría de problema. Este orden se presenta en la Figura 15.

FIGURA 15 – CICLO ETAPAS DE INVESTIGACIÓN EN *DESIGN SCIENCE*



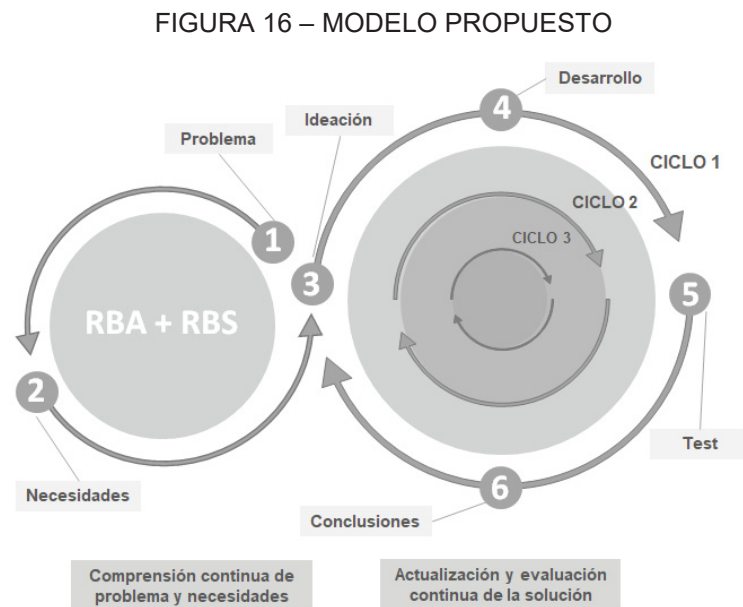
FUENTE: Adaptado de Santos (2018).

A partir de las etapas de *Design Science* propuestas por Santos (2018), se propone un modelo que destaca la implementación de ciclos iterativos, es decir, se repiten los mismos pasos a medida que se evalúa el desarrollo del sistema, y estos se renombran de la siguiente forma:

- La comprensión del problema corresponde a (1) problema y (2) necesidades donde se realiza revisión bibliográfica sistemática y no sistemática, estos se actualizan continuamente a lo largo del proceso de investigación.
- La generación de alternativas corresponde a (3) ideación donde se implementan técnicas y métodos para generar ideas de solución.
- El desarrollo del prototipo corresponde a (4) desarrollo, donde se crean las nuevas soluciones que cada nueva versión debe proporcionar.
- La evaluación corresponde a (5) test, donde se prueba cada una de las versiones del sistema o producto que se genera cada ciclo.

- Las conclusiones corresponden a (6) conclusiones, donde se generan las conclusiones del ciclo, pero al mismo tiempo se establecen las recomendaciones para el inicio del siguiente ciclo.

Este modelo se puede ver en la Figura 16.



De acuerdo con (MERCADO et al., 2021) la RV es una tecnología que está en constante evolución, no solo a nivel de software sino también a nivel hardware, por esa razón es propuesto este modelo, ya que los resultados que están en el ciclo que se finalizan, no significa que sean definitivos, porque es una tecnología que puede presentar nuevas actualizaciones y se fomenta que con este modelo sea fácil continuar o replicar para futuros estudios.

Para evaluar el sistema a cada ciclo fueron implementados tests de usabilidad basados en las heurísticas de Nielsen (1993). Consiste en un cuestionario de 10 preguntas, que el usuario puede responder utilizando una escala Likert (1932), que va del 1 al 5, siendo 1 "Completamente en desacuerdo" y 5 "Estoy completamente de acuerdo". El método de evaluación de las respuestas se divide en 3 pilares:

- Efectividad: ¿Pueden los usuarios completar sus objetivos?
- Eficiencia: ¿Cuánto esfuerzo y recursos se necesitan para que los usuarios completen sus objetivos?
- Satisfacción: ¿Fue satisfactoria la experiencia del usuario?

En el cuadro 8 se presenta el cuestionario que fue presentado para los participantes durante los tests de usabilidad.

CUADRO 8 – CUESTIONARIO

Cuestionario de escala de usabilidad del sistema		
Responda del 1 al 5 qué tan de acuerdo está con las siguientes afirmaciones. Donde 1 = totalmente en desacuerdo; 2 = en desacuerdo; 3 = neutro; 4 = de acuerdo; 5 = totalmente de acuerdo. Después de eso, en el campo de comentarios, puede dejar sus comentarios sobre la nota.		
Tipo de evaluación	afirmaciones	Calificación del 1 al 5
Satisfacción	P1 - Creo que me gustaría usar el sistema con frecuencia	
Comentarios		
Facilidad de memorización	P2 - Creo que el sistema es muy complejo	
Comentarios		
Facilidad de aprendizaje	P3 - Me pareció fácil de usar	
Comentarios		
Facilidad de aprendizaje	P4 - Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el sistema	
Comentarios		
Eficiencia del sistema	P5 - Creo que las funciones del sistema están muy bien integradas	
Comentarios		
Eficiencia del sistema	P6 - Creo que el sistema es muy inconsistente	
Comentarios		
Facilidad de aprendizaje	P7 - Me imagino que la gente aprenderá a usar el sistema rápidamente	
Comentarios		
Eficiencia del sistema	P8 - Lo encontré complicado de usar	
Comentarios		
Satisfacción	Q9 - Me sentí seguro usando el sistema	
Comentarios		
Facilidad de aprendizaje	Q10 - Tuve que aprender varias cosas antes de poder usar el sistema	
Comentarios		

FUENTE: Adaptado de Nielsen (1994)

Para el análisis de los resultados, es necesario calcular un índice. Para ello tras recoger los resultados, se realizan unas cuentas para llegar al resultado final, que va de 0 a 100. Para las respuestas impares (1, 3, 5, 7, 9), 1 se resta de la puntuación que el usuario asignó a la respuesta. Para las respuestas pareadas (2, 4, 6, 8, 10), la puntuación que el usuario asignó de $5(5-x)$ disminuye. Luego todos los valores de las diez preguntas se suman y se multiplican por 2.5.

Debido a que este es un método maduro, la comunidad de investigación tiene algunos puntos de referencia. Por lo tanto, el promedio del índice es de 68 puntos. Si se han hecho menos puntos que esto, el sistema probablemente está "experimentando serios problemas de usabilidad" en el cuadro 9, se presenta la escala de puntuación completa.

CUADRO 9 - ÍNDICES DE USABILIDAD

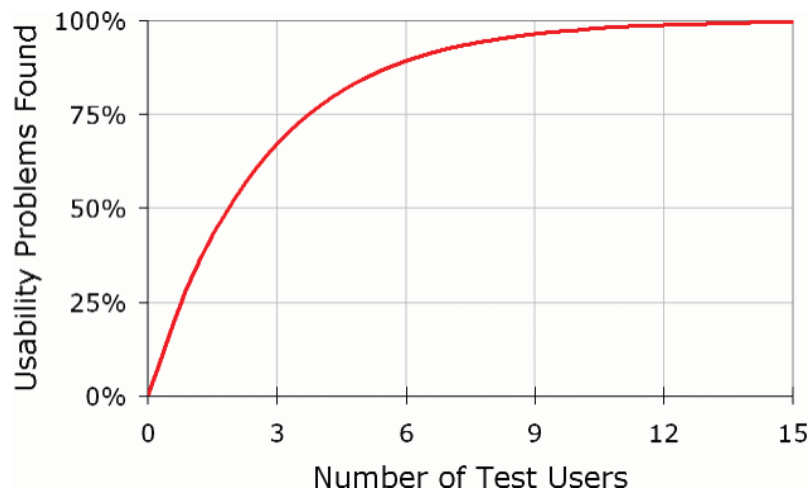
Puntuación	Índice de Usabilidad
-60	Inaceptable
60-70	Ok
70-80	Bueno
80-90	Excelente
+90	Mejor usabilidad posible

FUENTE: Adaptado de Nielsen (1994)

Estos cálculos de la puntuación son realizados en el momento del análisis de los resultados. No se hace el día de la prueba de usabilidad, ya que no es responsabilidad de los usuarios hacer este análisis, sino de los investigadores.

Para la evaluación de este prototipo, se realizaron 3 tests de usabilidad con un grupo de 5 especialistas en cirugía video laparoscópica. Según Nielsen (2000) cuando se trata de expertos en el campo a evaluar, existe una alta eficiencia con grupos de 5 a 9 especialistas para encontrar problemas de usabilidad, como se puede ver en el gráfico 5.

GRÁFICO 5 - CURVA CON NÚMERO DE USUARIOS TEST DE USABILIDAD



FUENTE: Nielsen (2000).

Según Nielsen (2000) también es mejor hacer estas pruebas iterativamente como se propone en esta investigación. La razón principal es que es mejor ejecutar múltiples tests porque el verdadero objetivo de la usabilidad es mejorar el diseño y no solo documentar sus debilidades. Después de que el primer estudio con cinco participantes haya encontrado el 85% de los problemas de usabilidad, se solucionaran estos problemas en un rediseño, después de crear el nuevo diseño, se debe testar nuevamente. El rediseño debe "corregir" los problemas encontrados en el primer estudio. Un segundo test descubrirá si las correcciones funcionaron o no. Además, al introducir un nuevo diseño, siempre existe el riesgo de introducir un nuevo problema de usabilidad, incluso si el anterior se ha solucionado. El segundo estudio de 5 usuarios encontrará la mayoría del 15% restante de los problemas de usabilidad originales que no se encontraron en la primera ronda de pruebas. Por lo tanto, el segundo estudio servirá como garantía de la calidad del resultado del primer estudio y también ayudará a proporcionar información más profunda. El segundo estudio siempre conducirá a una nueva (pero más pequeña) lista de problemas de usabilidad que deben solucionarse en un rediseño. Y la misma percepción se aplica a este rediseño: no todas las correcciones funcionarán; Se descubrirán algunos problemas más profundos después de limpiar la interfaz. Por lo tanto, también es necesario un tercer estudio. Es por eso que en esta investigación se realizarán 3 tests de usabilidad.

Para los usuarios seleccionados no se tuvieron en cuenta características de talla, edad, género, color y raza (clasificación IBGE), etnia, orientación sexual e identidad de género, clases y grupos sociales, entre otros. Debido a que esta

investigación evalúa principalmente el sistema de entrenamiento en video laparoscopia, y no se evalúan comportamientos basados en las características de los participantes. La única característica que se tuvo en cuenta es que fueran médicos cirujanos (con formación médica y postgrado en cirugía general) independientemente de su género, color, raza y edad. En esta investigación, la muestra de usuarios a estudiar es de 5. Es por eso que no se profundizó en estadísticas detalladas del número de personas que han estado en medicina y cirugía general en la ciudad de Curitiba.

Los criterios de inclusión para los participantes de este estudio fueron los siguientes:

- Ser graduado en medicina.
- Tener un postgrado en cirugía general.
- Alto conocimiento en cirugía video laparoscópica.
- Vivir en Curitiba.
- Haber leído y firmado los términos del ETS.

Los criterios de exclusión fueron los siguientes:

- No ser graduado en medicina.
- No tener un título en cirugía general.
- Poco conocimiento en cirugía video laparoscópica.
- Vivir en un lugar diferente en Curitiba.
- Padecer algún tipo de enfermedad o limitación física que impida el uso del sistema.
- No haber leído y firmado los términos del ETS.

Durante los tests es posible el riesgo de vértigo, que puede tener el participante durante la inmersión en realidad virtual. Actualmente no existen datos exactos en cuanto a la posibilidad de la ocurrencia de este posible riesgo debido a lo que es una tecnología reciente y no se han encontrado estudios que aclaren cuantitativamente cuál es la posibilidad de la ocurrencia en la formación médica, ya que la posibilidad de riesgo de vértigo puede depender del tipo de simulación. En este caso como la simulación es en una sala quirúrgica donde el cirujano permanece de pie y solo necesita mover las manos, la posibilidad de este riesgo es muy baja. Una medida para minimizar este riesgo es preguntar constantemente cómo se siente el usuario durante

la inmersión y en caso de que sienta vértigo detener la prueba y retirar las gafas de realidad virtual, dejando que el usuario se siente en una silla y así dejarlo descansar.

3.1 CICLO 1 ENTORNO EN REALIDAD VIRTUAL

En este ciclo 1, la ideación comenzó a través de una lluvia de ideas en el LAMPI (Laboratorio de Modelado y Prototipado) de la UFPR, junto con otros investigadores en el área de realidad virtual. La idea resultante fue un sistema de entrenamiento de realidad virtual inmersiva con *Oculus Quest II*, pero teniendo en cuenta que en este ciclo 1 sería posible validar la inmersión en el entorno quirúrgico 3D con los instrumentos de cirugía laparoscópica que forman parte del mismo, para lo cual el cirujano tiene acceso al entorno y al agarre de los instrumentos, pero no aplicación directa en un ejercicio psicomotor. Se trata de evaluar mediante una prueba de concepto si efectivamente el quirófano corresponde al entorno real y si la adhesión de los instrumentos dentro de la simulación es correcta. Como se puede ver en la Figura 17.

FIGURA 17 – ETAPAS CICLO 1

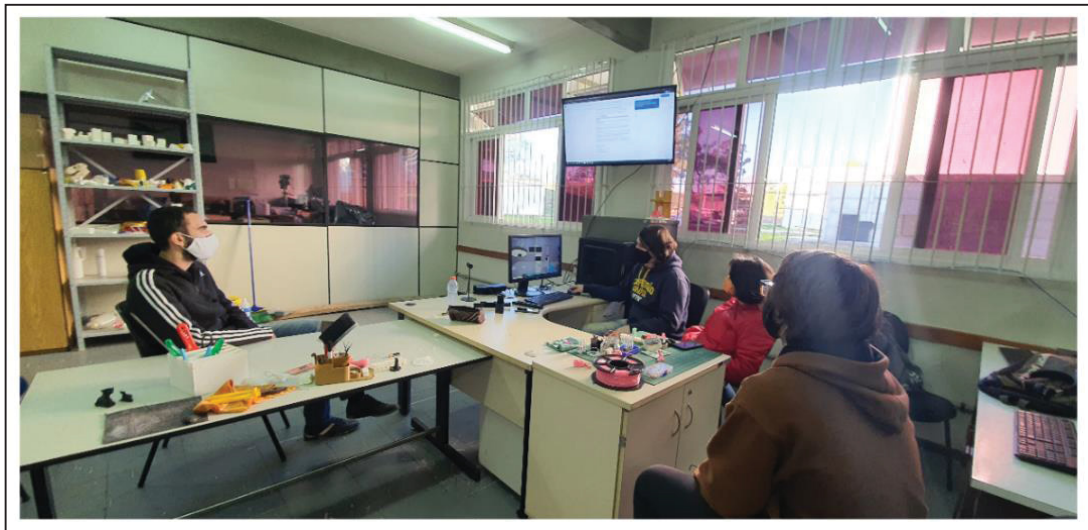


FUENTE: El autor (2023).

3.1.1 GENERACIÓN DE ALTERNATIVAS

La generación de alternativas para la solución del problema fue generada en colaboración con el EQUIPO de LAMPI (Laboratorio de Modelado y Prototipado) de la UFPR, que forma parte de este proyecto de investigación. El primer paso fue la lluvia de ideas, donde se generaron varias ideas y luego se filtraron para encontrar alternativas de solución. La figura 18 muestra parte del equipo en una reunión en el LAMPI.

FIGURA 18 – LLUVIA DE IDEAS EN EQUIPO



FUENTE: Mercado et al. (2021).

Durante la lluvia de ideas se propusieron varias formas de resolver el problema, tales como: un simulador de realidad virtual apto para smartphones, un simulador conectado con ordenadores y un simulador de realidad virtual autónomo como el *Oculus Quest II*, con un adaptador que simula el instrumento de pinzas laparoscópicas fabricado por manufactura aditiva adaptado al control.

En base al estado del arte y a los principales requerimientos planteados por los especialistas, la alternativa seleccionada fue la idea del simulador de realidad virtual con adaptador para el *Oculus Quest II* como el más adecuado. Esto debido a que estas gafas de realidad virtual no necesitan estar conectadas a un computador, por lo que pueden ser utilizadas en cualquier momento y lugar. Además de eso el laboratorio donde se está desarrollando el sistema cuenta con este equipo, por lo que es de mayor alcance para los investigadores y desarrolladores de este trabajo.

3.1.2 Desarrollo del primer prototipo

Para la organización del equipo desarrollador del producto - sistema se trabajó con la metodología ágil Scrum. Según Schdeva (2016) la ventaja de esta metodología ágil frente a otras es el hecho de que, durante los procesos de producción, los clientes pueden cambiar de opinión sobre lo que quieren y necesitan. Estos desafíos imprevistos no pueden abordarse fácilmente de manera predictiva o planificada tradicional y por lo tanto, es una ventaja de scrum/agile metodología. Scrum adopta un enfoque empírico, aceptando que el problema no se puede definir por completo, en lugar se enfoca en responder a los requisitos emergentes y adaptarse a las tecnologías en evolución y los cambios en el mercado. Por esta razón fue seleccionada esta metodología ágil, ya que se adapta mejor a los ciclos investigativos de *Design Science Research*, y al contexto de la tecnología que está siendo explorada que es la realidad virtual.

De acuerdo con Schdeva (2016) los roles que hacen parte de esta metodología ágil son los siguientes:

Product Owner: es el responsable de la visión del producto, el levantamiento y la priorización de los requerimientos y control sobre el presupuesto.

Scrum Master: El Scrum Master se ocupa de los problemas, asume la responsabilidad de que las reglas de Scrum se sigan adecuadamente y también entrena al equipo.

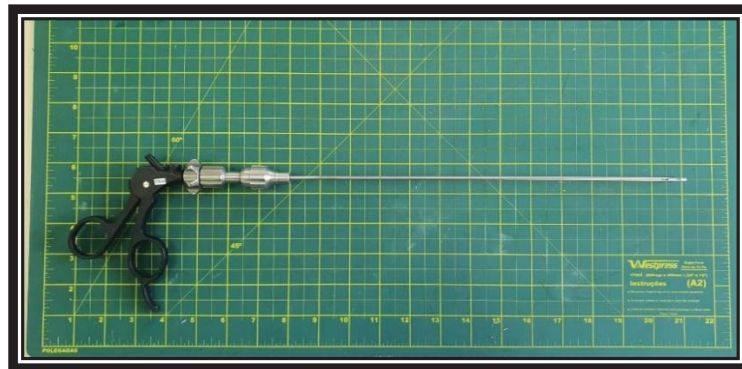
Desarrolladores: El equipo de Scrum es un grupo de personas autoorganizado, responsable de la creación y la calidad del producto. Y debido a que los equipos de scrum son multifuncionales, el "equipo de desarrollo" incluye probadores, diseñadores e ingenieros de operaciones además de desarrolladores.

Para la asignación de las actividades se comienza con la definición de un *product backlog* por parte del *product owner*, que consiste básicamente en una lista de todas las tareas que tienen que ser realizadas para lograr los objetivos de desarrollo. Posteriormente el *scrum master* junto con el *product owner* y los desarrolladores priorizan de acuerdo a los recursos, en cuales *sprints* serán desarrolladas las tareas definidas. Un *sprint* puede ser definido como un ciclo de desarrollo, cuyo tiempo depende de la duración definida previamente por el equipo. Esto quiere decir que no

hay una regla establecida que una *sprint* debe tener una duración específica. Para este caso cada *sprint* fue establecida de acuerdo con la duración de cada ciclo de *design science research* para así estar alineada la metodología ágil junto con la metodología de investigación implementada en este trabajo.

Para el desarrollo del primer prototipo, se realizó una medición completa de unas pinzas profesionales de cirugía laparoscópica para identificar sus componentes y función. Este análisis dimensional se realizó con la ayuda de instrumentos de medición como el calibrador y el micrómetro. Parte de este análisis dimensional se puede ver en la Figura 19.

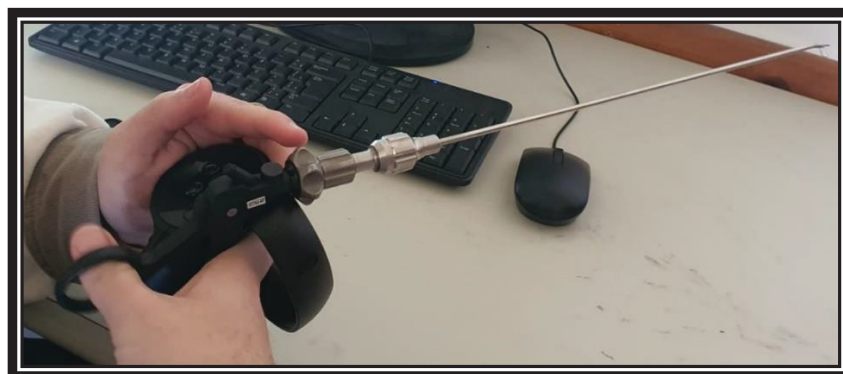
FIGURA 19 – MEDICIÓN DEL INSTRUMENTO DE VIDEOLAPAROSCOPIA



FUENTE: Mercado et al. (2021).

El objetivo de replicar las mismas pinzas utilizadas en las cirugías video laparoscópicas actuales es poder adaptarlo con los controles de realidad virtual del *Oculus Quest II*, para poder hacer un prototipo de muy bajo costo. En la figura 20 se revisa una posible adaptación de las pinzas laparoscópicas con el control del dispositivo de realidad virtual.

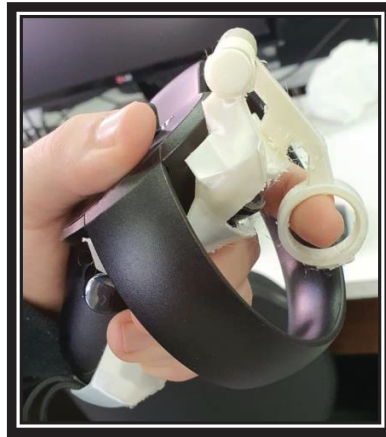
FIGURA 20 – INSTRUMENTO CON CONTROL



FUENTE: Mercado et al. (2021).

El objetivo fue adaptar parte de las características de las pinzas, en la figura 21 se presenta una primera adaptación con manufactura aditiva. Este adaptador busca permitir el movimiento de abrir y cerrar las pinzas, a través de pulsar el botón del control del *Oculus Quest II*.

FIGURA 21 – PROTOTIPO DEL ADAPTADOR EN MANUFACTURA ADITIVA



FUENTE: Mercado et al. (2021).

Se observa que el primer prototipo desarrollado presentaba algunas rebabas, pero lo más interesante es comprobar que el mecanismo activa el botón de control del *Oculus Quest II*.

Paralelamente al desarrollo del adaptador impreso en 3D, parte de la otra parte del equipo del proyecto modeló un entorno de sala para cirugía video laparoscópica, en el software *3DS Max*. Luego este entorno se renderizó en el software *Unreal Engine*, donde se recreó en realidad virtual como se muestra en la Figura 22.

FIGURA 22 – AMBIENTE EN REALIDAD VIRTUAL



FUENTE: Mercado et al. (2021).

Con la simulación de realidad virtual y el prototipo listo, se realizó una prueba inicial con el equipo en el LAMPI de la UFPR. Esto se puede ver en la Figura 23, donde un usuario percibe la sensación de inmersión, en el quirófano, observando el tracto digestivo del paciente en realidad virtual. En este primer contacto del entorno RV aún no se están utilizando los adaptadores impresos en 3D (Figura 21).

FIGURA 23 – TEST DEL SIMULADOR



FUENTE: Mercado et al. (2021).

En esta primera prueba los usuarios pudieron visualizar el entorno y el sistema digestivo, que es el primer prototipo del tipo de cirugía laparoscópica desarrollada y lograron obtener una inmersión del sistema. Es importante destacar que todos los comentarios sobre el sistema de realidad virtual, de cualquier usuario, fueron anotados y luego discutidos con el equipo.

Sobre la base de estas pruebas iniciales, se decidió realizar algunas mejoras a nivel de interfaz y luego rehacer la prueba. Luego, se verificó la posibilidad de tomar la prueba de concepto con especialistas. Esta secuencia de pruebas de expertos se presenta a continuación.

3.1.3 PRUEBA DE CONCEPTO

El propósito de evaluar con un experto es para que el desarrollo sea lo más cercano posible a la realidad. Esta prueba se llamó POC (Proof of Concept) Prueba de concepto en el proyecto. Para ello, se realizaron colaboraciones con especialistas en video laparoscopia del hospital de clínicas UFPR.

FIGURA 24 – PRUEBA DE CONCEPTO



FUENTE: El autor (2023).

Sobre la base de estas aplicaciones, se destacaron algunos puntos de mejora en el prototipo desarrollado. Los principales puntos planteados se dividieron en relación con las ventajas y desventajas de esta POC. A saber:

Ventajas:

- Cuando se comentó que el valor de un prototipo como este será en promedio R \$ 50.000, para los gerentes de las instituciones les pareció bien en términos de costo – beneficio.
- La experiencia de inmersión que genera la realidad virtual es bastante positiva.

Desventajas:

- Se debe mejorar la retroalimentación háptica (que es la sensibilidad al tacto que ofrece el instrumento simulador, al realizar una acción al tocar otro objeto dentro de la virtualización, siendo órganos, tejidos, agujas, entre otros).

- Se necesita una base guía, similar a la presentada en la Figura 9, para acercarse a la realidad, de forma que el usuario pueda trabajar de manera similar a la presentada en la Figura 9. No solo por la retroalimentación de los especialistas, sino también, como destaca Khan et al (2017), que esto deja al cirujano con cinco movimientos posibles: Superior / Inferior; movimiento de la cabeza a los pies (inclinación), Mediolateral; movimiento de izquierda a derecha (guiñada), rotación alrededor del eje longitudinal (rotación), anteroposterior; por dentro y por fuera (traducción) y abrir/cerrar la garra (agarrar). Esto es importante porque proporciona limitación más cercana a la realidad del procedimiento.

En general, al equipo del proyecto y a los expertos les gustó esta prueba de concepto. Sabiendo que hay limitaciones, pero que hay un gran potencial de mejora y aplicaciones.

3.2 CICLO 2 – DESARROLLO DEL ENTRENAMIENTO BÁSICO

En el segundo ciclo, se realizó un *workshop* en el hospital de las clínicas de Curitiba como etapa de ideación, luego se realizó el desarrollo del primer entrenamiento básico para el desarrollo psicomotor basado en los controles del *Oculus Quest II*, posteriormente se realizó un test de usabilidad con especialistas en video laparoscopia del Hospital Evangélico Mackenzie (HUEM), Porque aún se está completando el desarrollo de la primera formación básica en realidad virtual inmersiva. Cómo se puede ver en la figura 25.

FIGURA 25 – ETAPAS CICLO 2



FUENTE: El autor (2023).

3.2.1 Workshop 1 Hospital de Clínicas UFPR

Con el fin de tener un mayor conocimiento sobre el funcionamiento de estos sistemas, se realizó un *workshop* de ideación con médicos especialistas del hospital de las clínicas de Curitiba. Este *workshop* tuvo los siguientes momentos:

- Fase inicial de revisión de las alternativas generadas para confirmar efectivamente cuál era la más viable para la formación de los residentes.
- Fase de recomendaciones a tener en cuenta para el desarrollo de la alternativa elegida.
- Fase de prueba del sistema de entrenamiento *Lapsim* en laparoscopia a través de realidad virtual no inmersiva para comprender de primera mano la interfaz y experiencia que ofrece este sistema, como se muestra en la Figura 26, uno de los mejores del mundo con un costo superior a R\$1.000.000 y que tuvo que ser importado desde Suiza, debido a la falta de fabricantes de estos sistemas en América Latina.
- Fase de conclusiones y retroalimentación según la prueba realizada con el *Lapsim*.

FIGURA 26 - TEST DEL SIMULADOR LAPSIM

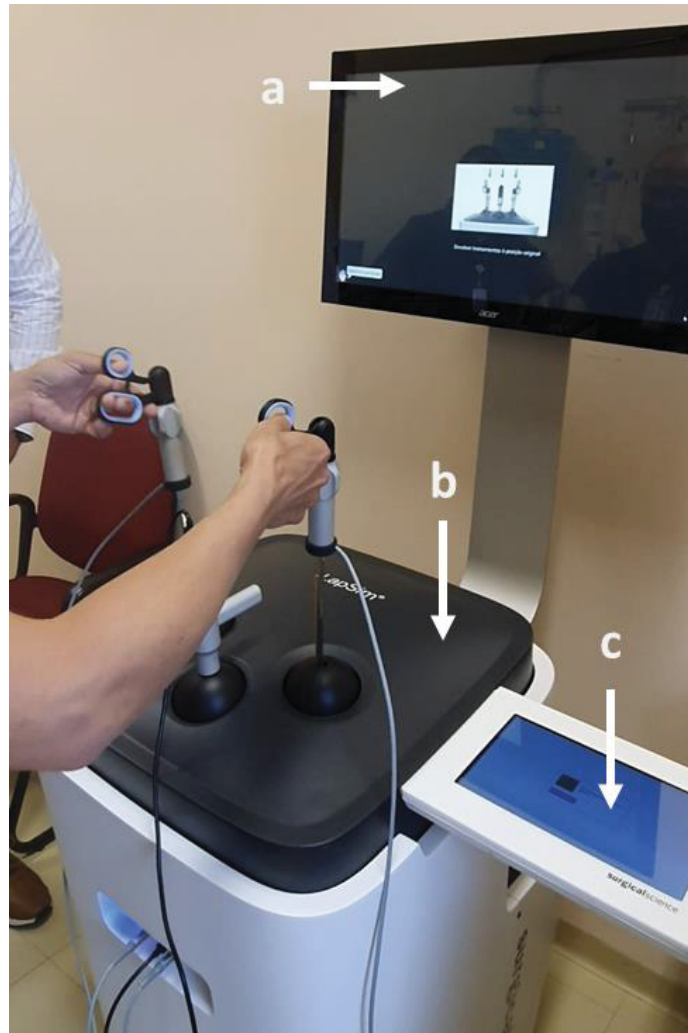


FUENTE: Mercado et al. (2021).

La figura 26 muestra al profesor responsable de guiar el uso del *Lapsim*. Quien explicó de primera mano las similitudes entre el uso de este sistema de entrenamiento en cirugía laparoscópica de realidad virtual y cirugía real. Destacando lo siguiente:

- La sensación de profundidad de una pantalla. Este es un gran reto, ya que requiere acostumbrarse a la sensación de profundidad visual a la de la pantalla, evitando ir demasiado profundo para no generar perforaciones internas con el instrumento.
- Controlar el equilibrio del instrumento durante el procedimiento. Un cirujano inexperto en sus primeros procedimientos tiene un gran temblor en la mano, lo que puede generar el riesgo de generar cortes internos no deseados, poniendo en peligro la salud del paciente. Este simulador es un gran beneficio para desarrollar este equilibrio.

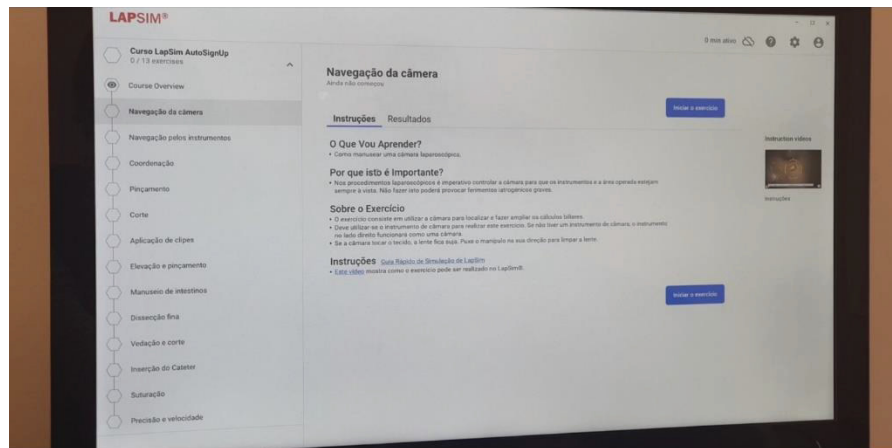
FIGURA 27 - SIMULADOR LAPSIM



FUENTE: Mercado et al. (2021).

La figura 27 muestra que el sistema consta del siguiente hardware:

- el. Pantalla frontal donde se muestran las simulaciones.
- b. Pantalla lateral horizontal para la configuración del software.
- c. Panel de control donde hay dos pinzas y un instrumento que se asemeja a la cámara utilizada durante los procedimientos.

FIGURA 28 - INTERFAZ INTRO DE EJERCICIO *LAPSIM*

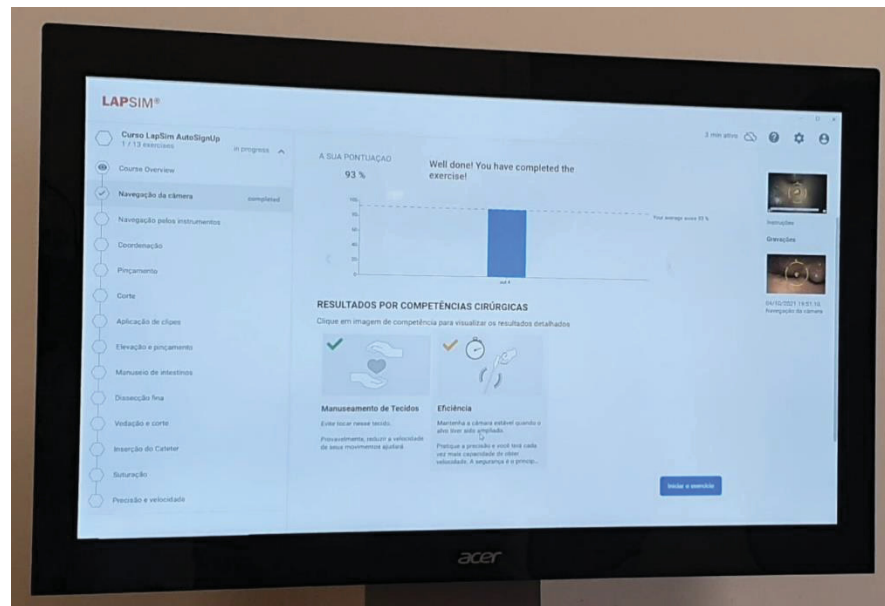
FUENTE: Mercado et al. (2021).

La figura 28 muestra la interfaz inicial de la ruta inicial del simulador *Lapsim*. Sus clases están organizadas por orden de dificultad y desarrollo motor para el dominio de los instrumentos. La tabla 4 muestra algunas de las lecciones y su nivel de dificultad.

TABLA 5 - LECCIONES Y NIVELES DE DIFICULTAD

Lección	Dificultad	Aporte quirúrgico psicomotor
Navegación de la cámara	Baja	Dominio en el agarre de la cámara
Navegación e instrumentos	Baja	Dominio en el cambio de instrumentos.
Coordinación	Baja	Dominio de la coordinación con ambas manos
Agarre con pinzas	Baja	Dominio en el uso de pinzas laparoscópicas
Corte	Media	Dominio en el uso de instrumentos de corte laparoscópicos
Aplicación de clips	Media	Dominio en el uso del clipador laparoscópico
Elevación con pinzas	Media	Dominio en el uso de pinzas para levantamiento de tejidos
Manipulación de intestinos	Media	Dominio en el uso de instrumentos para manipular intestinos.
Dissección fina	Alta	Dominio de instrumentos para dissección de tejido fino
Sellado y corte	Alta	Dominio en el sellado de tejidos para evitar hemorragias en el corte
Inserción de catéter	Alta	Dominio de instrumentos para colocación de catéter
Sutura	Alta	Dominio de instrumentos para sutura laparoscópica
Precisión y velocidad	Alta	Dominio en la aplicación de técnicas de forma rápida y precisa.

FUENTE: El autor (2023).

FIGURA 29 - INTERFAZ FIN DEL EJERCICIO *LAPSIM*

FUENTE: Mercado et al. (2021).

La figura 29 muestra la interfaz del simulador *Lapsim* cuando finaliza una lección. Esto genera una puntuación y resultados para las habilidades quirúrgicas, como el manejo de tejidos y la eficiencia. Por lo tanto, es importante generar retroalimentación al final de cada lección.

3.2.2 Desarrollo del segundo prototipo

De acuerdo con la retroalimentación obtenida en la prueba de concepto y los requisitos planteados en el taller realizado en el hospital de las clínicas de Curitiba, quedó clara la necesidad de un prototipo que tenga una guía para dirigir los ejes de los controladores *Oculus Quest II*. De manera similar a los trócares que se implementan en una cirugía real. De igual forma, los expertos destacaron que lo ideal para iniciar sería un entrenamiento muy básico, de dificultad baja, con el propósito de desarrollar la psicomotricidad de ambas manos en el residente. Así que la idea a desarrollar en este segundo ciclo fue un entrenamiento donde el estudiante de cirugía laparoscópica debe moverse entre tejidos, tocando masas, no es un procedimiento real, sino una práctica motora para tener dominio psicomotor en el uso de instrumentos y la visualización de estos a través de una pantalla dentro de la realidad virtual inmersiva.

La figura 30 muestra la representación del modelo 3D realizado a partir de la guía de los controladores de *Oculus Quest II*.

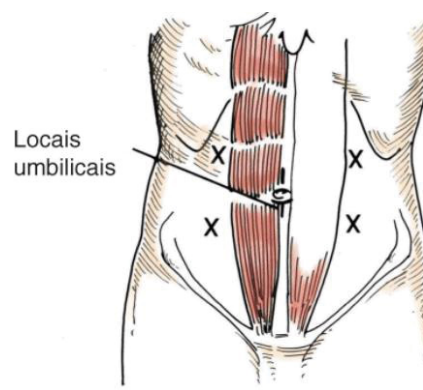
FIGURA 30 - MODELO 3D DEL PROTOTIPO DE SOPORTE



FUENTE: Mercado et al. (2021).

Para el diseño de este prototipo se tuvieron en cuenta las medidas anatómicas para la colocación de los trócares, tomando como referencia el *Lapsim* y las recomendaciones de Ellison y Zollinger (2017). Como se puede ver en la figura 31.

FIGURA 31 – LUGARES PARA COLOCAR LOS TROCARES



X – locais alternativos

FUENTE: Ellison e Zollinger (2017).

FIGURA 32 - PROTOTIPO DE SOPORTE EN MANUFACTURA ADITIVA



FUENTE: Mercado et al. (2021).

La figura 32 muestra cómo se utiliza el prototipo de manufactura aditiva para la guía del controlador *Oculus Quest II* para ensamblar piezas que hacen que la interacción de control sea más similar a la de un instrumento real.

Para la simulación en realidad virtual, de acuerdo con las recomendaciones dadas por los especialistas en cirugía video laparoscópica. Se decidió desarrollar una serie de entrenamientos que consiste en tocar en bolas con los instrumentos de video laparoscopia. Estas bolas se encuentran en movimiento, y de acuerdo a sus características el usuario debe tomar acción de la siguiente manera:

Bola roja con letra R: El usuario debe tocarla con el instrumento agarrado con la mano derecha.

Bola verde con letra L: El usuario debe tocarla con el instrumento agarrado con la mano izquierda.

Bola negra: El usuario no debe tocarla porque si toca en ella pierde puntos.

Fue recomendado desarrollar este entrenamiento inicialmente con bolas, para ser una primera aproximación al desarrollo psicomotriz en video laparoscopia y no entrar en algo tan complejo como un procedimiento quirúrgico inicialmente. De esta forma los estudiantes se pueden acostumbrar gradualmente al uso de los instrumentos y así pueden desarrollar la habilidad de tocar masas.

El entrenamiento está dividido por niveles y etapas. Cada nivel tiene 5 etapas. A medida que el usuario avanza en los diversos niveles y etapas, el movimiento de estas esferas se vuelve más complejo y rápido, generando que sea más complejo tocar en ellas, como también aparecen bolas de color negro, que si el usuario toca en ellas puede perder puntos. De igual manera si el usuario toca en los tejidos que están alrededor de las bolas también pierde puntos.

Al momento del usuario iniciar la simulación aparece una pantalla de transición que indica que está cargando el entrenamiento. Tal como se aprecia en la figura 33.

FIGURA 33 – PANTALLA DE TRANSICIÓN SIMULADOR



FUENTE: El autor (2023).

Posteriormente que ha cargado la simulación, el usuario ya se encuentra en la sala de cirugía donde puede visualizar el paciente y los equipos que le servirán de apoyo durante el entrenamiento. Esto se aprecia en la figura 34.

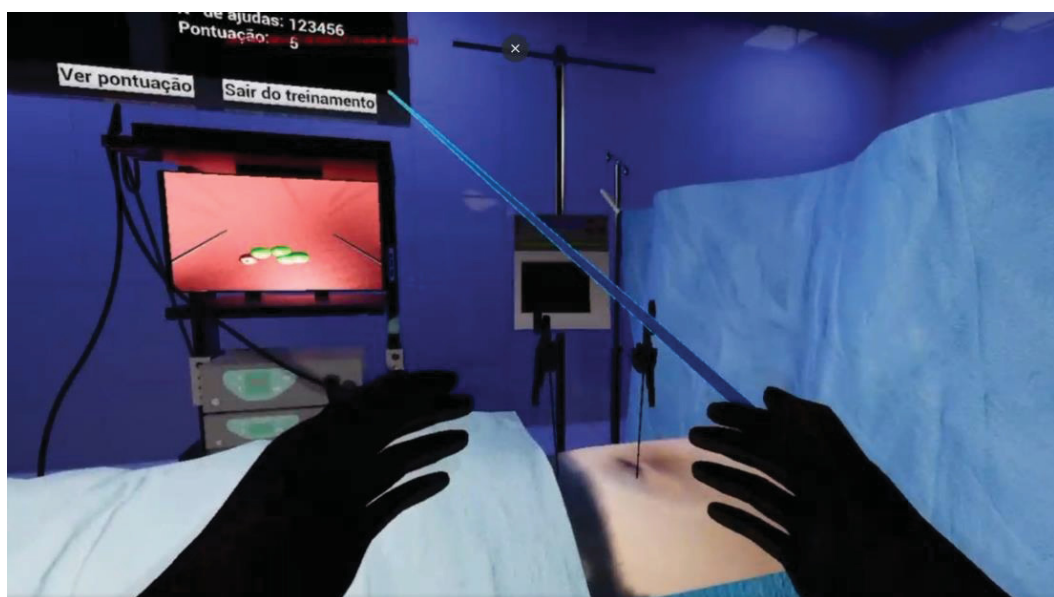
FIGURA 34 – ENTORNO SIMULACIÓN



FUENTE: El autor (2023).

En esta simulación el usuario tiene control de sus movimientos, pudiéndose desplazar de un lugar a otro en el ambiente quirúrgico. Pero para iniciar la practica video laparoscópica se debe acercar al paciente y agarrar las pinzas. Tal como se aprecia en la figura 35.

FIGURA 35 – VISTA DEL USUARIO



FUENTE: El autor (2023).

Luego que el usuario ha agarrado las pinzas carga la pantalla de que será iniciado la etapa 1 del nivel 1, como se aprecia en la figura 36.

FIGURA 36 - TRANSICIÓN CAMBIO DE NIVEL



FUENTE: El autor (2023).

Al iniciar la etapa 1 del nivel 1, aparecen las bolas que el usuario debe tocar en la pantalla que transmite la cavidad interna del paciente. Tal como se aprecia en la figura 37.

FIGURA 37 – PANTALLA DEL ENTRENAMIENTO



FUENTE: El autor (2023).

En las pantallas superiores aparece la puntuación del usuario, indicando las siguientes variables:

Cronometro: Es el tiempo que el usuario tiene para completar la etapa.

Numero de errores: Equivale a los contactos en tejidos o bolas negras que el usuario ha cometido durante la simulación.

Numero de ayudas: Consiste en las orientaciones que el usuario tiene derecho en cada etapa, para saber cómo proceder ante cada actividad.

Puntuación: Es el valor positivo acumulado, por tocar de forma correcta en cada bola roja o verde.

Esto se aprecia en la figura 38

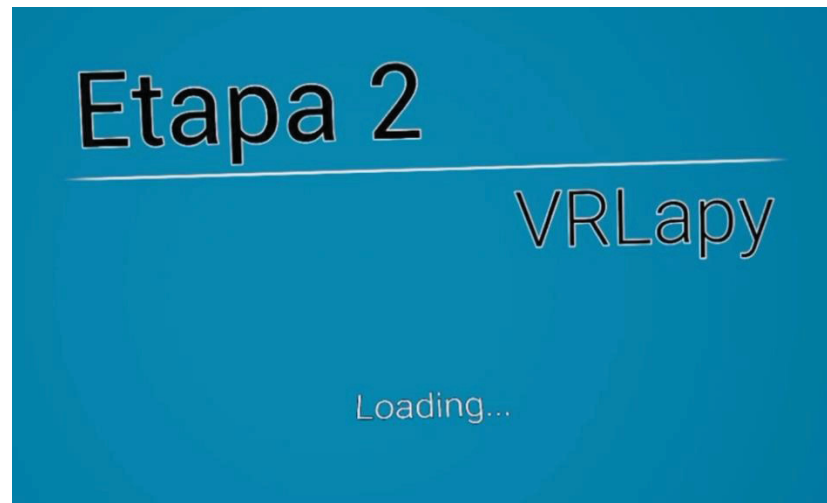
FIGURA 38 – VARIABLES DEL ENTRENAMIENTO



FUENTE: El autor (2023).

Luego que el usuario ha completado la etapa 1, aparece una pantalla de transición que indica el paso hacia la siguiente etapa. Esta se visualiza en la figura 39.

FIGURA 39 - TRANSICIÓN CAMBIO DE NIVEL



FUENTE: El autor (2023).

3.2.3 EVALUACIÓN DEL SEGUNDO PROTOTIPO (TEST DE USABILIDADE)

El primer test de usabilidad fue realizado con 5 profesionales de cirugía video laparoscópica del HUEM. En la figura 40 se aprecia uno de los especialistas realizando el test de usabilidad.

FIGURA 40 – TEST DE USABILIDAD 1



FUENTE: El autor (2023).

Posteriormente que cada uno de los especialistas iba finalizando la prueba del prototipo, se les pidió para calificar con una escala Likert cada una de las afirmaciones que se presentan en el cuadro 10.

CUADRO 10 – RESULTADOS TEST 1

Escala de usabilidad del sistema							
Tipo de evaluación	Afirmaciones	U1	U2	U3	U4	U5	Média
Satisfacción	1 - Creo que me gustaría usar el VRLapy a menudo	5	4	5	5	5	5
Facilidad de memorización	2 - Me parece el VRLapy demasiado complejo	3	4	1	2	3	3
Facilidad de aprendizaje	3 - Me pareció fácil de usar	4	3	5	4	5	4
Facilidad de aprendizaje	4 - Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el VRLapy	5	4	1	5	4	4
Eficiencia del sistema	5 - Creo que las funciones del VRLapy están muy bien integradas	3	3	1	3	2	2
Eficiencia del sistema	6 - Creo que el VRLapy tiene mucha inconsistencia	4	4	3	3	4	4
Facilidad de aprendizaje	7 - Me imagino que la gente aprenderá a usar el VRLapy rápidamente	4	5	5	3	5	4
Eficiencia del sistema	8 - Me pareció complicado de usar	4	4	5	5	4	4
Satisfacción	9 - Me sentí seguro usando el VRLapy	2	5	5	4	5	4
Facilidad de aprendizaje	10 - Necesité aprender varias cosas antes de poder usar el VRLapy	3	4	1	3	3	3
Suma total		19,0	20,0	30,0	21,0	24,0	22,8
Índice de satisfacción y usabilidad		47,5	50,0	75,0	52,5	60,0	57,0

FUENTE: El autor (2023).

Como se aprecia en el cuadro 10, el nombre que se le decidió dar a este sistema es *VRLapy*, que hace referencia a los términos realidad virtual y laparoscopia.

El resultado obtenido para la usabilidad del prototipo en este segundo test fue de (57.0), que corresponde a una usabilidad OK.

Los profesionales también comentaron abiertamente con respecto a la usabilidad del prototipo durante y después de la prueba. Los siguientes errores fueron identificados

- Se siente la base poco estable
- La altura tiene que ser adaptada a los usuarios, al momento de entrar en el sistema

- Sería mejor si el monitor estuviese al frente del usuario, para así no tener que mantener la cabeza girada
- Cuando el usuario entra hay una dificultad para coger la pinza. Ya que tiene que caminar hacia donde están las pinzas y además agarrarlas. Sería mejor si ya tuviera las pinzas agarradas. Ya que el propósito del entrenamiento es tocar las bolas y no agarrar las pinzas
- Botones para iniciar la simulación deberían estar mejor ubicados
- Falta de áudio de sala quirúrgica

Limitaciones identificadas

- Ergonomía del control es diferente al de una pinza real
- Falta de giro en la pinza
- Pinzas muy juntas en la base. Poca amplitud entre las pinzas
- En cirugía se está sobre un estrés, que no lo cubre la simulación, porque existe la tranquilidad que es un ambiente controlado, ya que en cualquier momento el usuario lo puede parar. Pero eso puede ser en cierta medida una desventaja, porque en la realidad, existe mucha más presión y estrés.

3.3 CICLO 3, AJUSTES EN SIMULACIÓN Y BASE IMPRESA EN 3D

Para el tercer ciclo de desarrollo se realizó una ideación de soluciones para los errores encontrados durante el test de usabilidad 1, estas fueron adicionadas en el *product backlog* y desarrolladas en el prototipo. Posteriormente fueron testadas con los especialistas para así obtener la retroalimentación para el próximo ciclo. Tal como se aprecia en la figura 41.

FIGURA 41 - CICLO 3



FUENTE: El autor (2023).

3.3.1 Ideación

De acuerdo a la retroalimentación obtenida del test de usabilidad 1, son propuestas las siguientes mejoras para el *product backlog* de este ciclo:

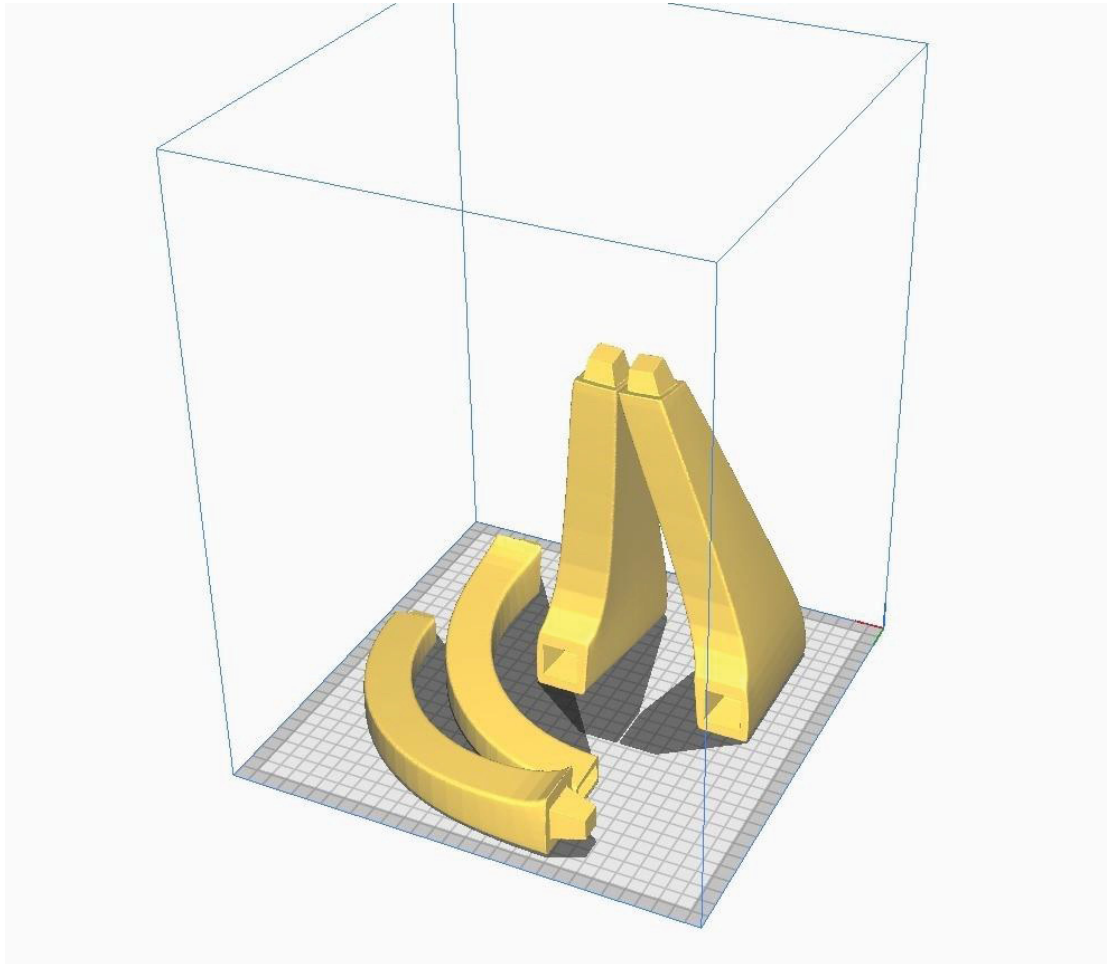
- Nueva base con mayor estabilidad
- Ajuste en la altura de acción y visión del usuario
- Colocar monitor en frente del usuario
- Traer el agarre de la pinza por defecto para el usuario
- Ajuste en la ubicación de los botones
- Colocar batimentos cardiacos

3.3.2 Desarrollo

Para la base fue proyectada un nuevo diseño con mayor estabilidad y menor consumo de material de impresión 3D, con piezas que pueden ser ensambladas entre

sí. En la figura 40 se puede apreciar el modelo 3D de la nueva base en el software para impresión 3D.

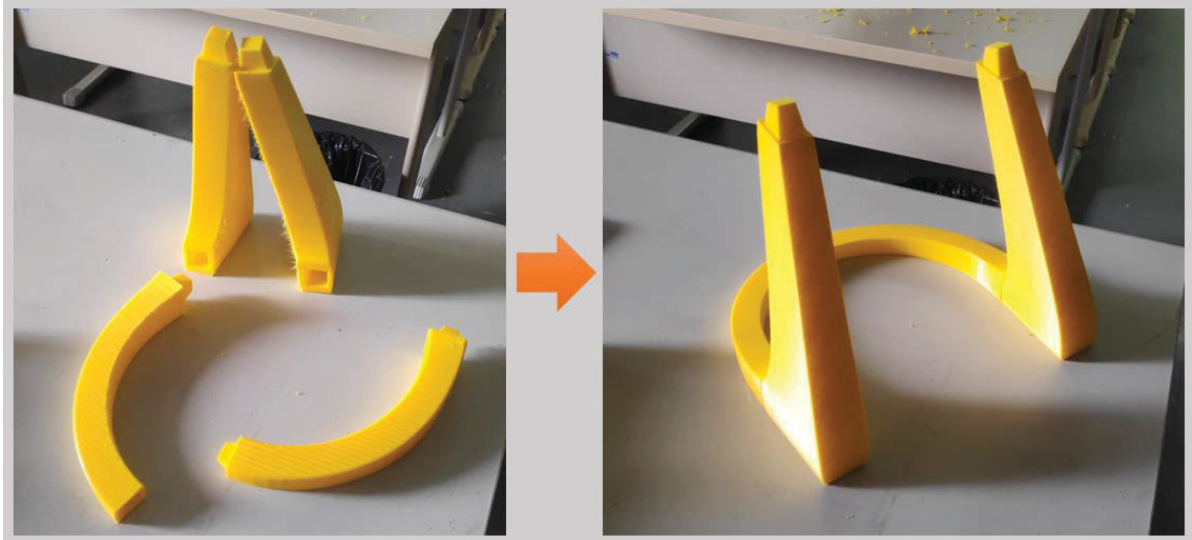
FIGURA 42 – MODELO 3D DEL NUEVO SOPORTE



FUENTE: El autor (2023).

Normalmente es importante ajustar las piezas que serán impresas de una forma en que el material puede ser optimizado, ya que estas impresoras trabajando con filamento ABS, el cual se va fundiendo y genera la forma capa tras capa. Existe la limitación también del tamaño de la base de la impresión 3D, para la impresora utilizada que es una *Ender*, siendo el límite de la base de esta impresora de 30 cm x 30 cm. Es por eso que al imprimir en 3D se debe tener en cuenta el tamaño de la base para así optimizar la impresión. En la figura 43 se aprecia como quedo el modelo 3D impreso y ensamblado.

FIGURA 43 – SOPORTE IMPRESO EN 3D

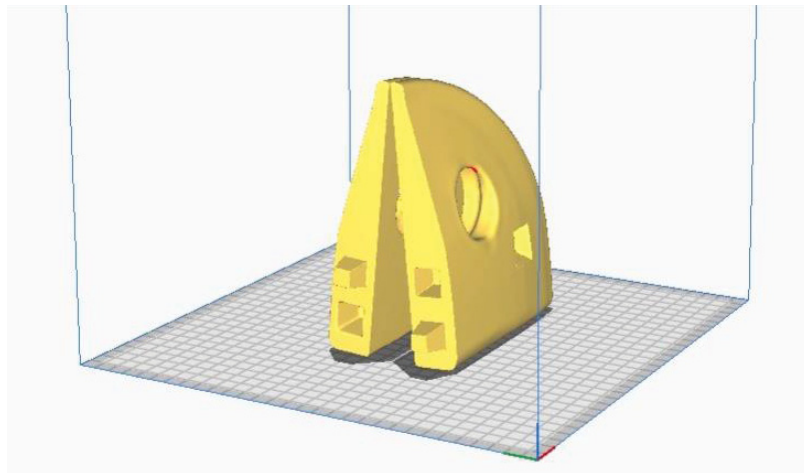


FUENTE: El autor (2023).

Si se observa al detalle se puede apreciar que recién impreso en el modelo quedan unas virutas con apariencia de pelos en el prototipo. Esto es común cuando se imprime en 3D debido al tipo de impresión que es por deposición fundida, son restantes que van quedando del material por el calor que este recibe. Para esto es importante con una lija, y con equipos de seguridad como gafas, pulir la pieza para retirar esos sobrantes.

Es importante resaltar que este tipo de impresión por ser de deposición fundida hace que el proceso para imprimirlo sea demorado. Imprimir esta pieza demora 24 horas. Eso influye en el tiempo que puede demorar tener el prototipo listo, debido a que como no es posible imprimir todas las piezas en la primera impresión, hay que esperar a culminar cada impresión para seguir con el resto de las piezas. Luego de tener lista la base, fue preparado el panel que contiene los ejes donde los instrumentos giran. Este modelo 3D se aprecia en la figura 44.

FIGURA 44 – MODELO 3D DEL NUEVO SOPORTE SUPERIOR



FUENTE: El autor (2023).

Luego de tener todas las piezas impresas y pulidas, fueron ensambladas para así completar la base guía para generar la restricción de movimiento característica de la cirugía por video laparoscopia. Se puede apreciar el prototipo ensamblado en la figura 45.

FIGURA 45 – PROTOTIPO 2 ARMADO



FUENTE: El autor (2023).

Para permitir un movimiento flexible en los ejes del prototipo, fueron impresos unos aros cóncavos que permiten encajar las esferas por los cuales pasará la barra guía de los adaptadores de los controles. Como se puede observar en la figura 46. Los aros y las esferas tienen una intersección en su perímetro esto permite que los aros puedan encajar en el panel con los huecos, y así mismo que las esferas puedan encajar en los aros.

FIGURA 46 – ESFERAS DE EJE PARA EL SOPORTE



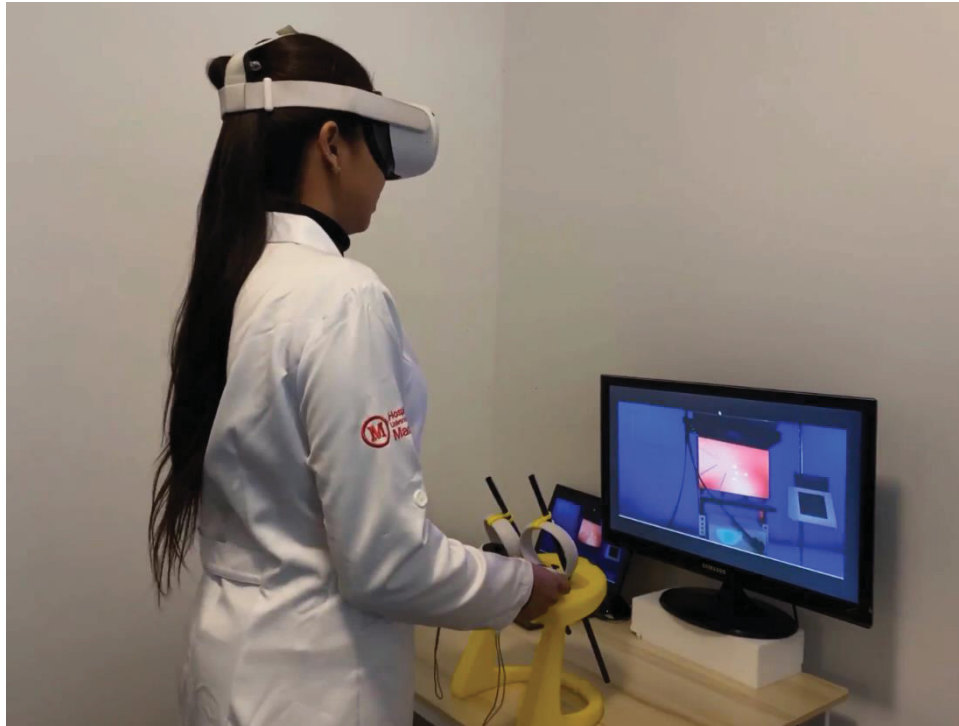
FUENTE: El autor (2023).

Llevar a cabo este prototipo fue un proceso largo, debido a que en algunos momentos la impresión 3D no quedaba de forma apropiada, o el modelo 3D debía tener algún ajuste.

3.3.3 Test

El segundo test de usabilidad fue realizado con el mismo grupo de profesionales de cirugía video laparoscópica del HUEM, sumando un total de 5 usuarios. En la figura 47 se aprecia uno de los especialistas realizando el test de usabilidad.

FIGURA 47 – TEST DE USABILIDAD 2



FUENTE: El autor (2023).

Posteriormente que cada uno de los especialistas iba finalizando la prueba del prototipo, se les pidió para calificar con una escala Likert cada una de las afirmaciones que se presentan en el cuadro 11.

CUADRO 11 – RESULTADOS TEST 2

Escala de usabilidad del sistema							
Tipo de evaluación	Afirmaciones	U1	U2	U3	U4	U5	Média
Satisfacción	1 - Creo que me gustaría usar el VRLapy a menudo	5	5	5	4	5	5
Facilidad de memorización	2 - Me parece el VRLapy demasiado complejo	3	1	2	2	1	2
Facilidad de aprendizaje	3 - Me pareció fácil de usar	3	4	5	4	5	4
Facilidad de aprendizaje	4 - Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el VRLapy	3	4	3	4	1	3
Eficiencia del sistema	5 - Creo que las funciones del VRLapy están muy bien integradas	3	3	2	3	1	2
Eficiencia del sistema	6 - Creo que el VRLapy tiene mucha inconsistencia	3	2	4	3	3	3
Facilidad de aprendizaje	7 - Me imagino que la gente aprenderá a usar el VRLapy rápidamente	5	4	5	4	5	5
Eficiencia del sistema	8 - Me pareció complicado de usar	4	5	4	4	5	4
Satisfacción	9 - Me sentí seguro usando el VRLapy	5	4	5	2	5	4
Facilidad de aprendizaje	10 - Necesité aprender varias cosas antes de poder usar el VRLapy	4	3	3	3	1	3
Suma total		24,0	25,0	26,0	21,0	30,0	25,2
Índice de satisfacción y usabilidad		60,0	62,5	65,0	52,5	75,0	63,0

FUENTE: El autor (2023).

El resultado obtenido para la usabilidad del prototipo en este segundo test fue de (63.0), que corresponde a una usabilidad OK.

Los profesionales también comentaron abiertamente con respecto a la usabilidad del prototipo durante y después de la prueba. Los siguientes errores fueron identificados

- Falta de tiempo para el usuario acostumbrarse con el uso del sistema
- La adaptación demora más porque los niveles del sistema pasan muy rápido
- Falta de un tutorial inicial que indique el paso a paso
- El audio de la sala quirúrgica podría variar de acuerdo a la complejidad del nivel. Aumentando el ritmo cardíaco.
- La inclinación de la base impresa en 3D no coincide con los ejes del sistema
- A medida que pasan los niveles, va girando la posición del usuario

3.4 CICLO 4, AJUSTES EN SIMULACIÓN Y BASE IMPRESA EN 3D

Para el cuarto ciclo de desarrollo se realizó una ideación de soluciones para los errores encontrados durante el test de usabilidad 2, estas fueron adicionadas en el *product backlog* y desarrolladas en el prototipo. Posteriormente fueron testadas con los especialistas para así obtener la retroalimentación para el próximo ciclo. Tal como se aprecia en la figura 48.

FIGURA 48 – ETAPAS CICLO 3



FUENTE: El autor (2023).

3.4.1 Ideación

De acuerdo a la retroalimentación obtenida del teste de usabilidad 2, son propuestas las siguientes mejoras para el *product backlog* de este ciclo:

- Aumento en la cantidad de tiempo de un nivel a otro
- Tutorial indicando el paso a paso
- Proyectar nueva base con inclinación acorde a los ejes de la realidad virtual
- Latidos cardiacos que aumentan de velocidad
- Ajustar giro que sucede al avance de cada nivel

3.4.2 Desarrollo

Al momento de ensamblar las piezas impresas en 3D hubo un espacio que no permitía el encaje correcto generando que la base quedase inestable. Para eso fue

necesario usar un producto epoxi conocido como Durepoxi para rellenar estas uniones. Este se aprecia en la figura 49.

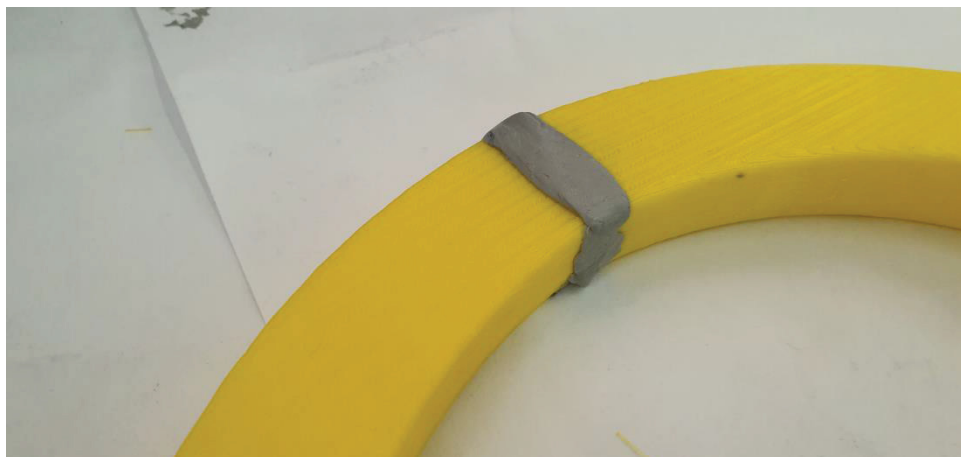
FIGURA 49 – RESINA USADA PARA JUNTAS



FUENTE: El autor (2023).

Es una masa que contiene un componente A y uno B, que al juntarlos se activa su endurecimiento, por lo que inmediatamente se debe colocar en el lugar que quiere ser aplicado. Todos los espaciamientos de ensamble fueron rellenados y cubiertos con esta masa epoxi para generar la rigidez necesaria en la unión de cada una de las piezas, tal como se aprecia en la figura 50.

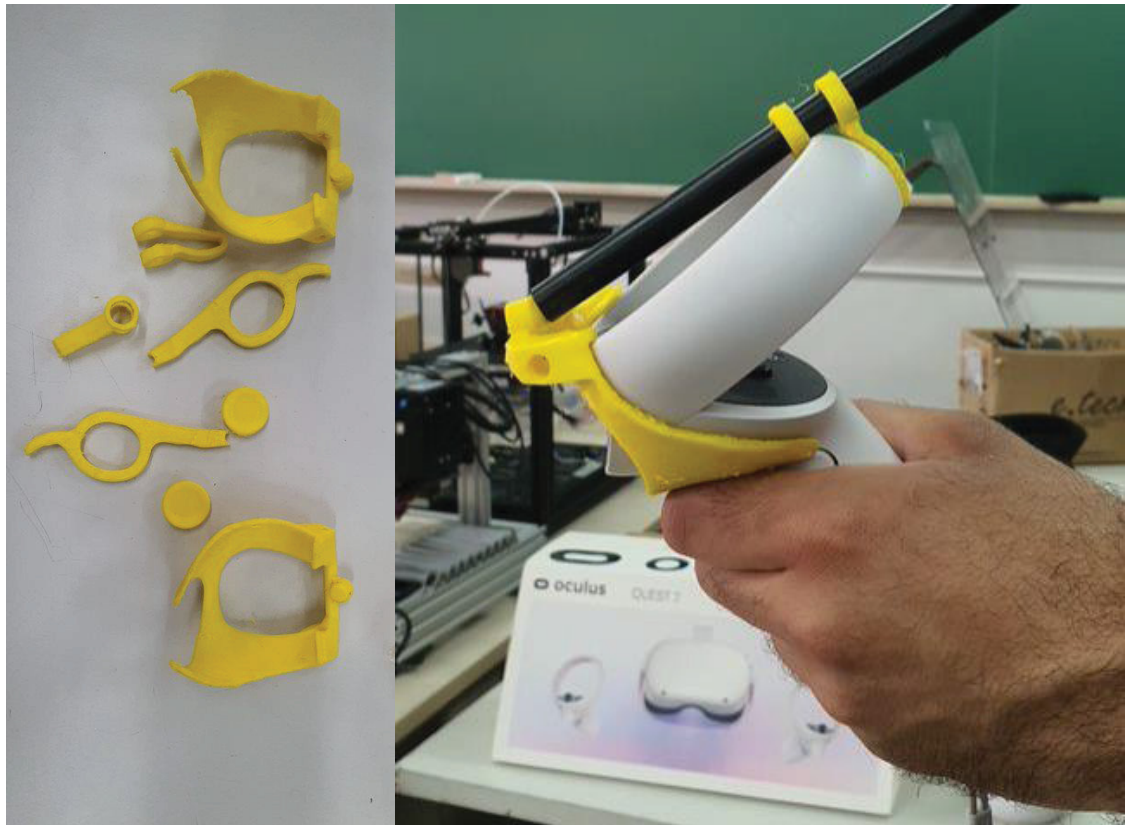
FIGURA 50 – APLICACION DE DUREPOXI EN JUNTA



FUENTE: El autor (2023).

Para generar la adaptación de la barra guía al control del *Oculus Quest II*, fueron creados unos adaptadores que cuentan con unos orificios, por los cual puede pasar la barra guía, esta servirá para generar la restricción en el eje de la base guía. Este adaptador se puede apreciar en la figura 51.

FIGURA 51 – CONTROL CON VERSIÓN 2 DEL ADAPTADOR



FUENTE: El autor (2023).

Luego de colocado el adaptador en el control se hizo el empalme junto con los ejes de la base guía, donde se hizo también la colocación de unas esferas en los extremos de la barra para así, generar el límite profundidad externa e interna al jalar el instrumento. Esta barra utilizada consiste en un tubo de PVC de 10 mm hueco, ligero, pero a la vez resistente permitiendo de esta manera un correcto encaje entre el control y la base. Esto se aprecia en la figura 52.

FIGURA 52 – PROTOTIPO 3 ARMADO



FUENTE: El autor (2023).

3.4.3 Test

El tercer test de usabilidad fue realizado con el mismo grupo de profesionales de cirugía video laparoscópica del HUEM, sumando un total de 5 usuarios. En la figura 53 se aprecia uno de los especialistas realizando el test de usabilidad.

FIGURA 53 – TEST DE USABILIDAD 3



FUENTE: El autor (2023).

Posteriormente que cada uno de los especialistas iba finalizando la prueba del prototipo, se les pidió para calificar con una escala Likert cada una de las afirmaciones que se presentan en el cuadro 12.

CUADRO 12 – RESULTADOS TEST 3

Escala de usabilidad del sistema							
Tipo de evaluación	Afirmaciones	U1	U2	U3	U4	U5	Média
Satisfacción	1 - Creo que me gustaría usar el VRLapy a menudo	5	4	5	5	5	5
Facilidad de memorización	2 - Me parece el VRLapy demasiado complejo	2	1	1	3	2	2
Facilidad de aprendizaje	3 - Me pareció fácil de usar	5	5	4	4	5	5
Facilidad de aprendizaje	4 - Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el VRLapy	3	1	4	3	4	3
Eficiencia del sistema	5 - Creo que las funciones del VRLapy están muy bien integradas	3	2	4	4	3	3
Eficiencia del sistema	6 - Creo que el VRLapy tiene mucha inconsistencia	2	3	2	2	3	2
Facilidad de aprendizaje	7 - Me imagino que la gente aprenderá a usar el VRLapy rápidamente	5	5	4	5	4	5
Eficiencia del sistema	8 - Me pareció complicado de usar	2	2	3	3	2	2
Satisfacción	9 - Me sentí seguro usando el VRLapy	5	5	4	5	2	4
Facilidad de aprendizaje	10 - Necesité aprender varias cosas antes de poder usar el VRLapy	3	1	3	4	3	3
Suma total		31,0	33,0	28,0	28,0	25,0	29,0
Índice de satisfacción y usabilidad		77,5	82,5	70,0	70,0	62,5	72,5

FUENTE: El autor (2023).

El resultado obtenido para la usabilidad del prototipo en este tercer test fue de (72,5), que corresponde a una usabilidad Buena.

Los profesionales también comentaron abiertamente con respecto a la usabilidad del prototipo durante y después de la prueba. Los siguientes errores fueron identificados:

- Falta de un sistema de retroalimentación.
- Falta de almacenamiento de la tabla de puntuación del usuario

Consideraciones sobre el capítulo

En este capítulo se presentó la estructura del método *Design Science*. Este sistema fue muy importante desarrollarlo iterativamente porque, como dijo Nielsen

(2000), la experiencia del usuario final mejora enormemente en 3 estudios con 5 usuarios cada uno, que en un solo estudio grande con 15 usuarios.

Es importante tener en cuenta la mejora continua del sistema evaluado en esta investigación. En el próximo capítulo de análisis de resultados se consolidarán todos los descubrimientos de las pruebas de usabilidad de cada uno de los ciclos para generar una línea de evolución de problemas y mejoras de usabilidad en el sistema.

4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo, después de completar todos los ciclos de desarrollo y prueba del sistema, se hizo un análisis de la calificación cualitativa dada a cada afirmación del test de acuerdo a la escala Likert.

Como es sabido en los 3 tests de usabilidad fue implementada la misma escala que se aprecia en el cuadro 13. Cada una de estas afirmaciones corresponde a un tipo de evaluación que ayuda a identificar el nivel de usabilidad del sistema.

CUADRO 13 - CONSOLIDACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS 3 TESTS

Escala de usabilidad del sistema				
Tipo de evaluación	Afirmaciones	Test 1	Test 2	Test 3
Satisfacción	1 - Creo que me gustaría usar el VRLapy a menudo	5	5	5
Facilidad de memorización	2 - Me parece el VRLapy demasiado complejo	3	2	2
Facilidad de aprendizaje	3 - Me pareció fácil de usar	4	4	5
Facilidad de aprendizaje	4 - Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el VRLapy	4	3	3
Eficiencia del sistema	5 - Creo que las funciones del VRLapy están muy bien integradas	2	2	3
Eficiencia del sistema	6 - Creo que el VRLapy tiene mucha inconsistencia	4	3	2
Facilidad de aprendizaje	7 - Me imagino que la gente aprenderá a usar el VRLapy rápidamente	4	5	5
Eficiencia del sistema	8 - Me pareció complicado de usar	4	4	2
Satisfacción	9 - Me sentí seguro usando el VRLapy	4	4	4
Facilidad de aprendizaje	10 - Necesité aprender varias cosas antes de poder usar el VRLapy	3	3	3
Suma total		22,8	25,2	29,0
Índice de satisfacción y usabilidad		57,0	63,0	72,5

FUENTE: El autor (2023).

En el cuadro 13 se presentan 5 columnas:

- Tipo de evaluación: Corresponde a la heurística de usabilidad a ser evaluada con esa afirmación.
- Afirmaciones: Corresponde a las diferentes expresiones que se relacionan con las heurísticas de usabilidad a ser evaluadas.
- Test 1: Promedios calculados de las calificaciones dadas a las afirmaciones en el primer test.

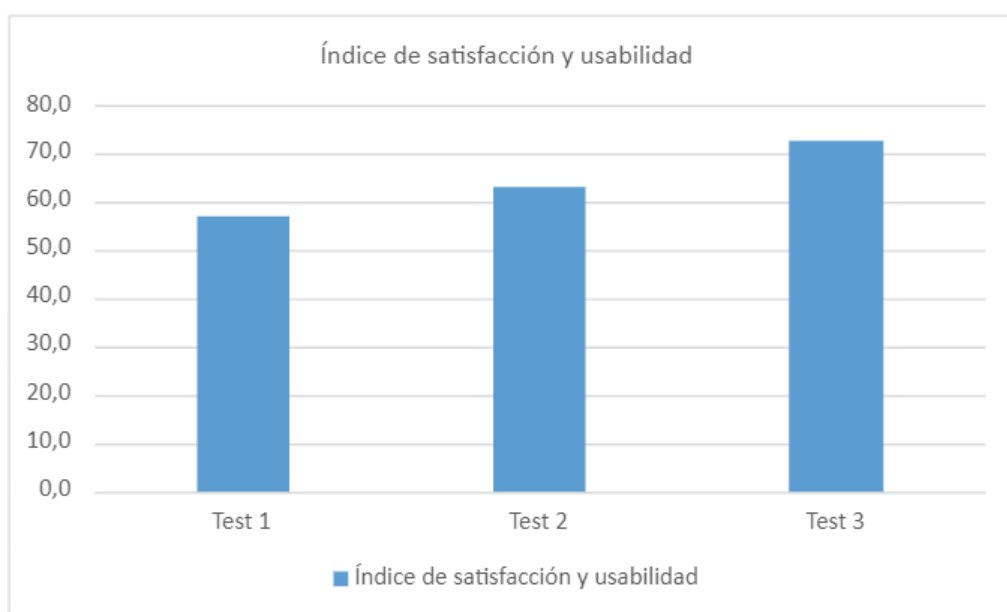
- Test 2: Promedios calculados de las calificaciones dadas a las afirmaciones en el segundo test.
- Test 3: Promedios calculados de las calificaciones dadas a las afirmaciones en el tercer test.

La evolución de los promedios de calificaciones cualitativas dadas a las afirmaciones 1 a 10 es analizada a lo largo de este capítulo para así describir cuales heurísticas de usabilidad el sistema logró atender.

Es importante recordar que el entrenamiento en realidad virtual inmersiva desarrollado y testado en esta investigación, es enfocado a la habilidad de tocar masas. Por lo tanto, la usabilidad de este sistema se limita a esa práctica. No se deben tomar estos resultados, como universales para otras habilidades que son necesarias en la práctica de la cirugía video laparoscópica con sistemas de realidad virtual inmersiva, ya que pueden existir diversos entrenamientos que ofrecen condiciones completamente diferentes al usuario.

En el gráfico 6 se aprecia como fue la evolución de la usabilidad del sistema a lo largo de los 3 tests, pasando de una usabilidad baja (57) identificada en el test 1, para luego evolucionar a una usabilidad media (63) en el test 2, y en el test 3 para una usabilidad buena (72,5).

GRÁFICO 6 - COMPARACIÓN DE LOS RESULTADOS DE LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 7 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 1 (Creo que me gustaría usar el *VRLapy* a menudo).

Esta afirmación está relacionada con la motivación que el producto genera en el usuario para usarlo de forma constante.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto si genera motivación en el usuario para usarlo constantemente. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 1 de forma consecutiva en los tests:

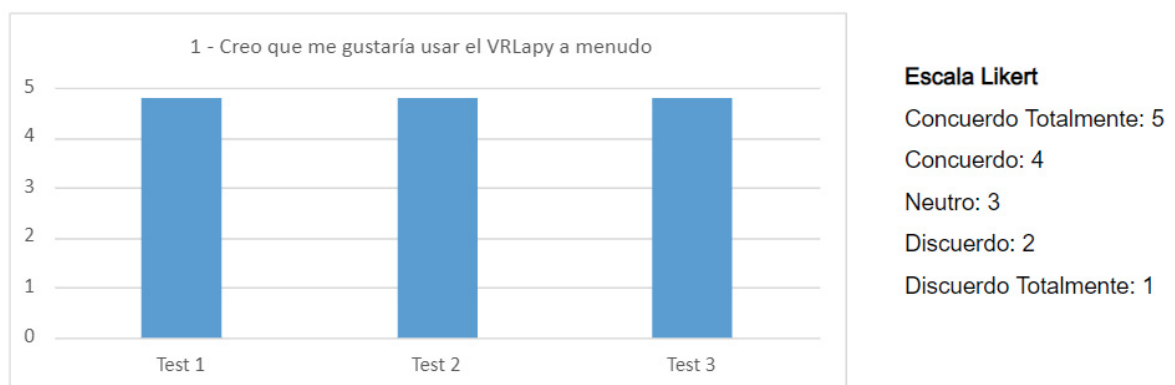
Test 1: 5

Test 2: 5

Test 3: 5

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es la practicidad que ofrece el sistema para ser usado a cualquier momento sin la necesidad de colocar en riesgo la vida de un paciente, como tampoco depender de recursos hospitalarios para su práctica.

GRÁFICO 7 – RESULTADOS AFIRMACIÓN 1 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 8 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 2 (Me parece el *VRLapy* demasiado complejo).

Esta afirmación está relacionada con la complejidad que el usuario percibe en el uso del sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos en los tests 2 y 3, se deduce que el producto no es demasiado complejo en la percepción del usuario. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 2 de forma consecutiva en los tests:

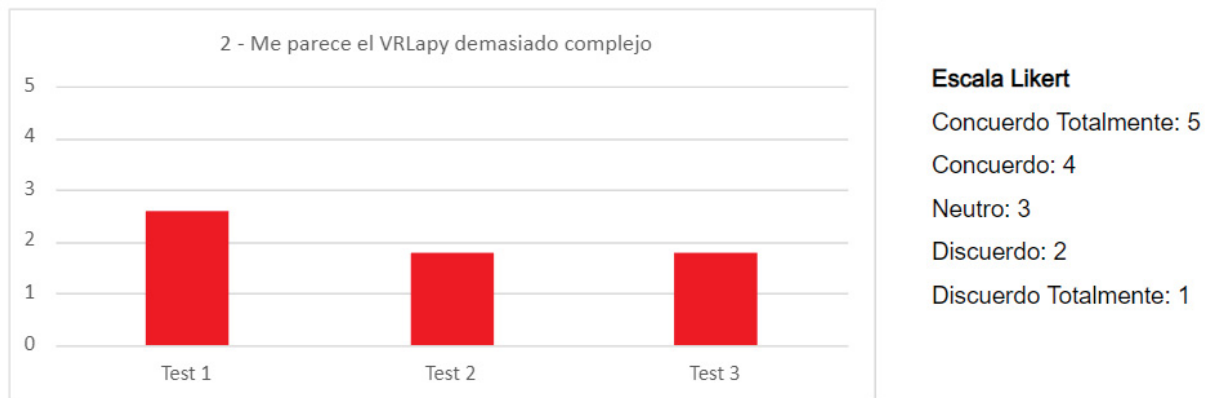
Test 1: 3

Test 2: 2

Test 3: 2

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios fue que el sistema funciona de forma similar a un video juego, permitiendo una adaptación inicial poco compleja, pero que a medida que el usuario avanza por los niveles del entrenamiento aumenta la dificultad. Por lo tanto, el sistema no inicia en su máximo nivel de dificultad, para así permitir un inicio que deje al usuario adaptarse al ambiente en realidad virtual.

GRÁFICO 8 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 2 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 9 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 3 (Me pareció fácil de usar).

Esta afirmación está relacionada con la facilidad de uso que el usuario percibe en el uso del sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto si es fácil de usar. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 3 de forma consecutiva en los tests:

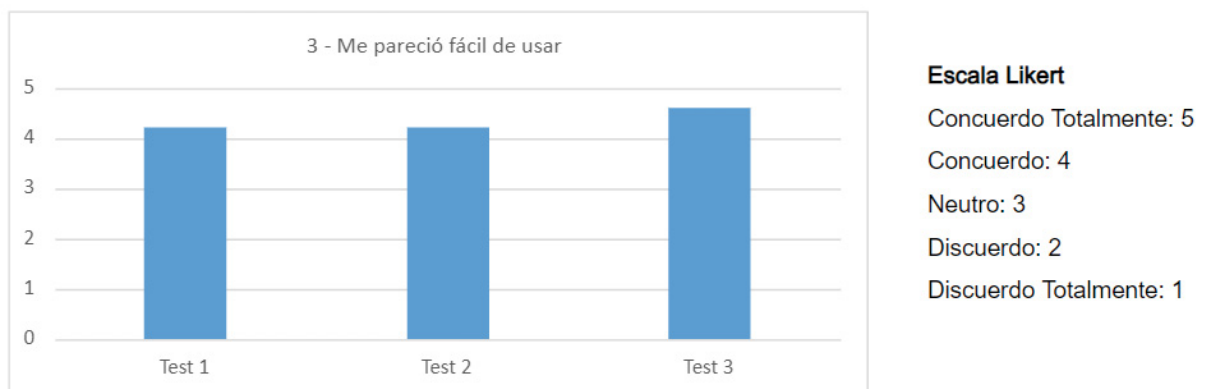
Test 1: 4

Test 2: 5

Test 3: 5

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que desde el inicio es muy intuitivo el uso, ya que la misma simulación va indicando que debe ser realizado.

GRÁFICO 9 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 3 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 10 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 4 (Creo que necesitaría conocimientos técnicos para usar el *VRLapy*).

Esta afirmación está relacionada con la percepción de conocimientos técnicos que el usuario siente que necesita para usar el sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que si son necesarios conocimientos previos en video laparoscopia antes de usar el sistema. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 4 de forma consecutiva en los tests:

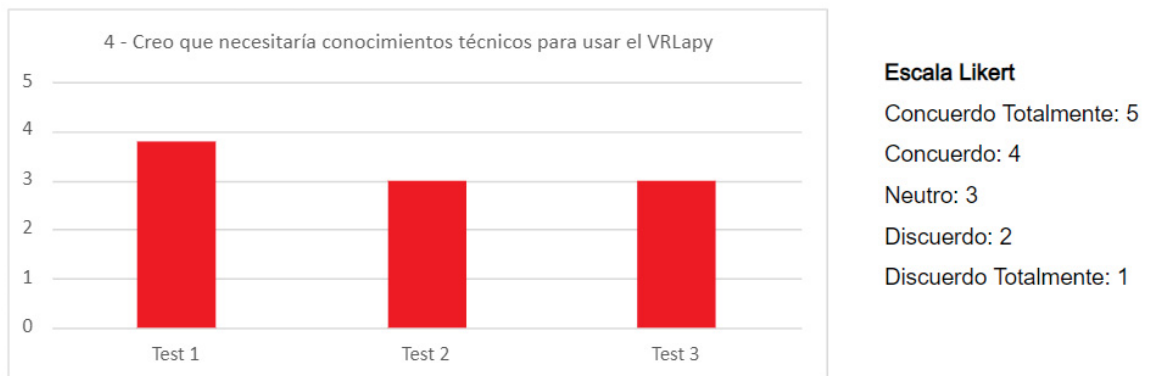
Test 1: 4

Test 2: 3

Test 3: 3

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios es que es importante tener una base de conocimientos en video laparoscopia para usar el sistema, porque este atiende solo una habilidad, y son muchas más las que se necesitan en la práctica real.

GRÁFICO 10 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 4 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 11 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 5 (Creo que las funciones del *VRLapy* están muy bien integradas).

Esta afirmación está relacionada con la integración de las funcionalidades y flujos del sistema como un todo.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que las funcionalidades producto están en un nivel intermedio de integración. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 5 de forma consecutiva en los tests:

Test 1: 2

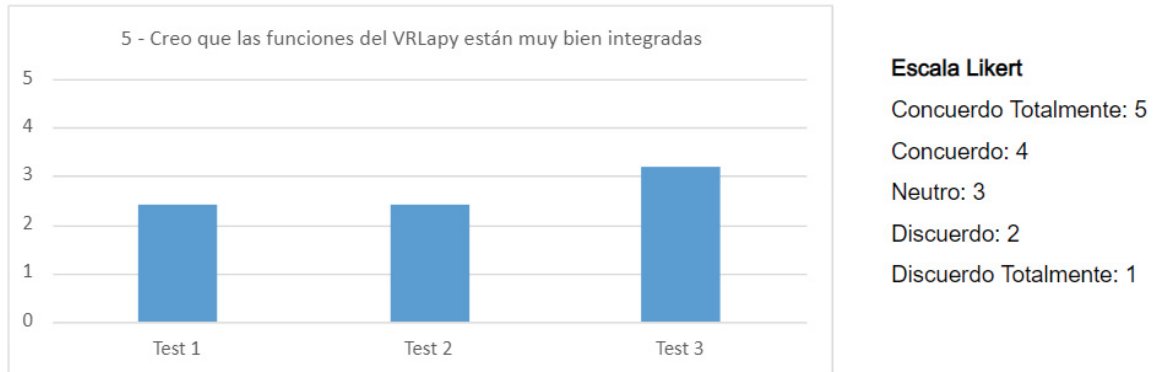
Test 2: 2

Test 3: 3

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que a pesar de que el sistema es intuitivo, algunas de sus funcionalidades podrían ser mejor presentadas para el usuario, como el hecho de

tener un sistema de retroalimentación al final, que indique que puede ser mejorado a cada práctica.

GRÁFICO 11 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 5 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 12 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 6 (Creo que el *VRLapy* tiene mucha inconsistencia).

Esta afirmación está relacionada con las inconsistencias o bugs que presenta el sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto presenta pocas inconsistencias. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 6 de forma consecutiva en los tests:

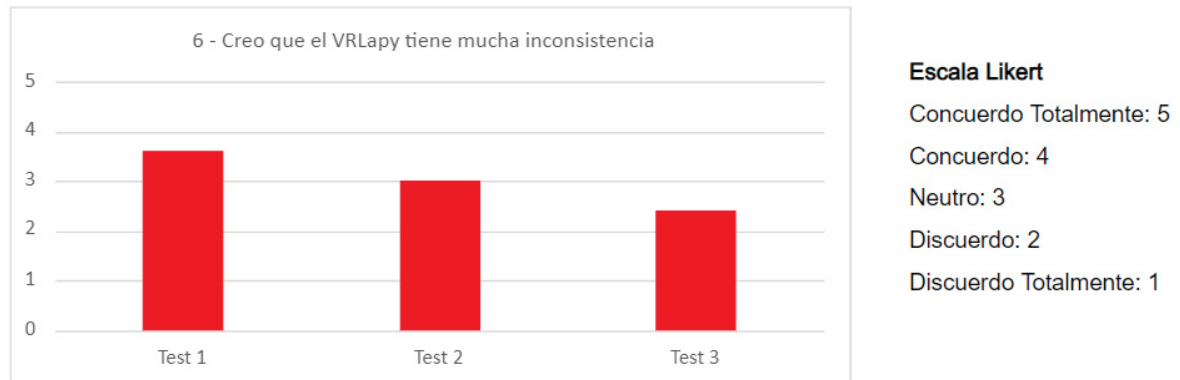
Test 1: 4

Test 2: 3

Test 3: 2

Uno de los puntos que ayudó a tener una mejoría en las puntuaciones fue que a medida que se iban realizando los tests, se realizaban mejorías en el sistema. Algunos comentarios de los usuarios respecto a esta puntuación fue que el sistema en comparación a una práctica real es bastante limitado, pero también es entendible que este entrenamiento, en esta versión no es enfocado en mejorar todas las habilidades necesarias en video laparoscopia, pero aun así hay detalles que pueden ser mejorados en la simulación para dejarlo más cerca a la realidad.

GRÁFICO 12 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 6 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 13 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 7 (Me imagino que la gente aprenderá a usar el *VRLapy* rápidamente).

Esta afirmación está relacionada con la percepción que tienen los usuarios a respecto de la rapidez para aprender a usar el sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto si es ágil para usarlo. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 7 de forma consecutiva en los tests:

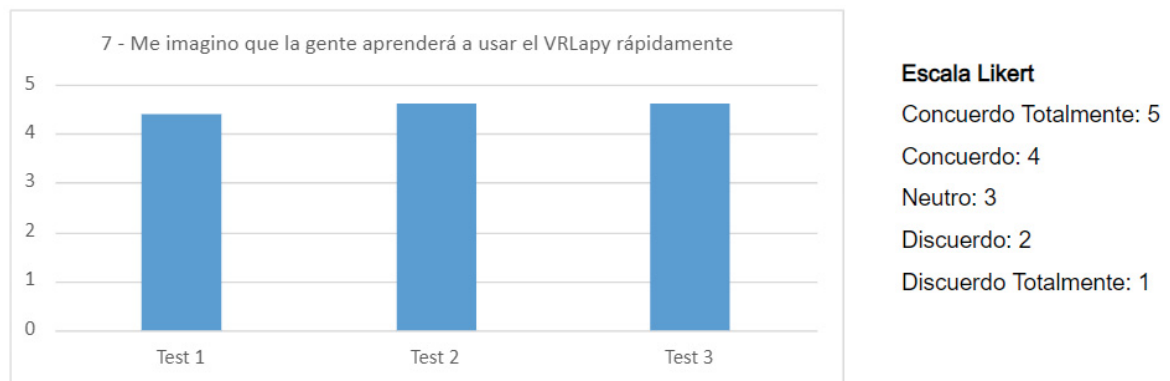
Test 1: 4

Test 2: 5

Test 3: 5

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que, a diferencia de la práctica real, son pocos los recursos necesarios para su uso, lo cual permite al usuario usarlo de una forma más constante. Además de eso, como es un sistema intuitivo, que va guiando al usuario su aprendizaje se hace más fácil.

GRÁFICO 13 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 7 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 14 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 8 (Me pareció complicado de usar).

Esta afirmación está relacionada con la complejidad que el usuario puede percibir en el uso el sistema.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto es poco complejo de usar. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación X de forma consecutiva en los tests:

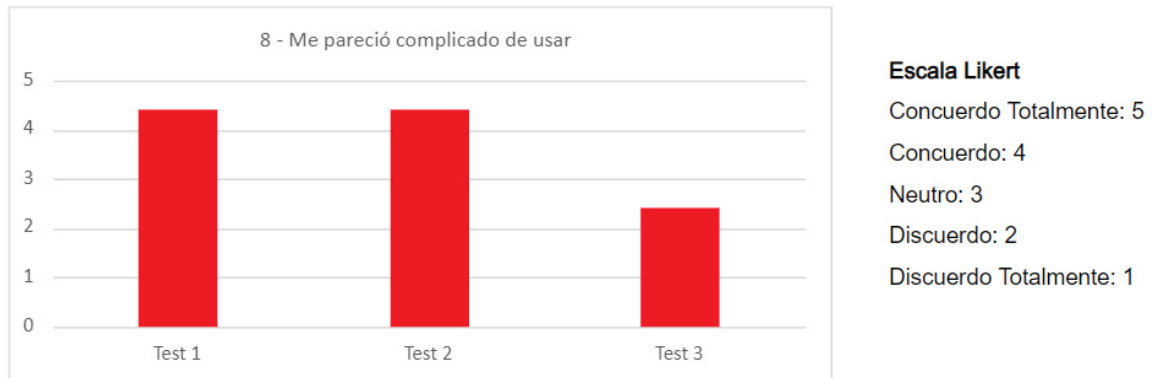
Test 1: 4

Test 2: 4

Test 3: 2

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que el sistema indica que debe ser realizado durante el entrenamiento, generando mayor complejidad en su uso.

GRÁFICO 14 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 8 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 15 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 9 (Me sentí seguro usando el *VRLapy*).

Esta afirmación está relacionada con la confianza que el sistema transmite al usuario durante el uso.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto genera cierta seguridad al usuario durante su uso. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación 9 de forma consecutiva en los tests:

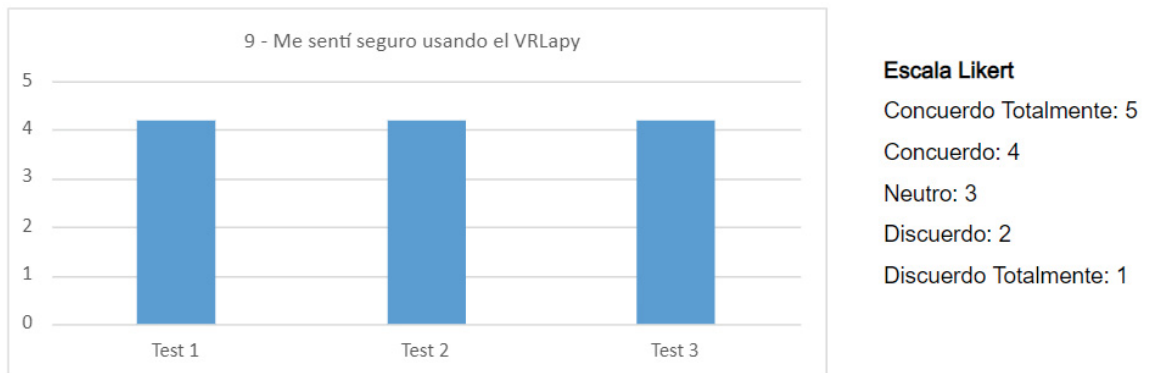
Test 1: 4

Test 2: 4

Test 3: 4

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que a diferencia de una práctica real, se sienten más tranquilos de no poner en riesgo la vida de un paciente real, lo que les genera más confianza en la práctica.

GRÁFICO 15 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 9 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

En el gráfico 16 se aprecian los promedios calculados en cada uno de los test para la afirmación 10 (Necesité aprender varias cosas antes de poder usar el *VRLapy*).

Esta afirmación está relacionada con el aprendizaje previo al uso del sistema que el usuario siente que debe tener.

De acuerdo a los resultados obtenidos, se deduce que el producto si es necesario tener una base de conocimientos previos en video laparoscopia. Porque se obtuvieron los siguientes promedios de calificaciones para la afirmación X de forma consecutiva en los tests:

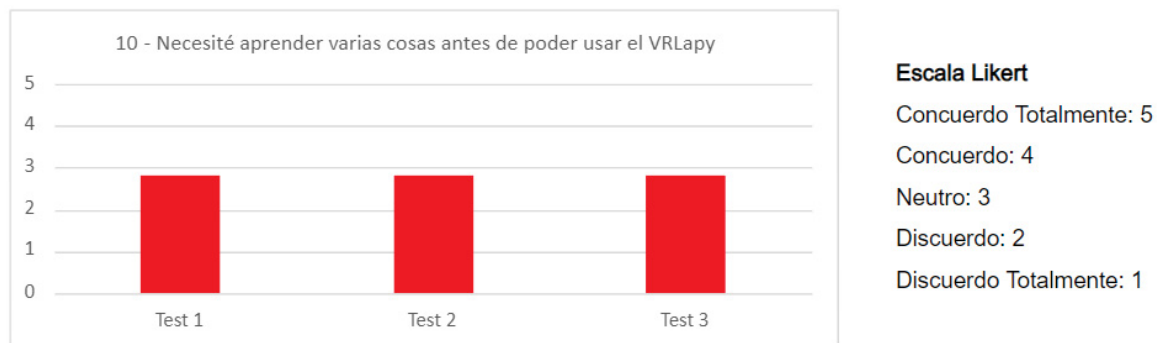
Test 1: 3

Test 2: 3

Test 3: 3

Uno de los puntos que favorece esta puntuación de acuerdo con los comentarios de los usuarios es que la video laparoscopia es un área que requiere de mucho estudio, por lo tanto, los usuarios deben tener una base previa en esta área.

GRÁFICO 16 - RESULTADOS AFIRMACIÓN 10 EN LOS 3 TESTS



FUENTE: Adaptado de Nielsen (1993)

De acuerdo a los resultados encontrados en los 3 tests de usabilidad se podría decir que el sistema de entrenamiento en video laparoscopia (*VRLapy*) desarrollado y evaluado en esta investigación para hacer más accesible el desarrollo psicomotor de los cirujanos podría funcionar apenas como una primera aproximación a lo que sería la practica con otro tipo de simulador que implemente los mismos instrumentos usados en la práctica real o muy parecidos a estos. Ya que los controladores usados en este sistema difieren en su agarre a los instrumentos reales. Además, este sistema se limitó a una simulación que permite la práctica de tocar masas, existen más habilidades necesarias en video laparoscopia como cortar, suturar, agarrar, entre otras, que este sistema no atiende.

Por lo tanto, se podría decir que la versión actual de este sistema podría resolver apenas una parte, debido a la limitación de sus controles. Para futuros estudios se recomiendan los siguientes puntos a tener en cuenta:

- Mejorar el funcionamiento de estos controladores y hacerlos más semejantes a los de la práctica real.
- Adicionar retroalimentación háptica en los controladores
- Desarrollar un sistema de retroalimentación para cuando el usuario finaliza la práctica
- Disponibilizar una tabla de puntuación y panel de control de la evolución del usuario.
- Desarrollar más módulos de entrenamientos para otras habilidades en video laparoscopia.

- Además de colores aplicar texturas que permitan diferenciar mejor las masas que el usuario debe tocar durante la práctica. Esto para permitir una mejor visualización para posibles usuarios daltónicos. A pesar que la esfera tiene una letra que indica con cual lado debe ser tocada, esta textura permitiría una mayor diferenciación.

Consideraciones sobre el capítulo

En este capítulo fue presentado a través del análisis de los resultados de los tests de usabilidad, que tan funcional es el sistema para los usuarios poder tener una práctica psicomotriz en la habilidad de tocar masas en video laparoscopia. De acuerdo a estos resultados, el sistema si es útil para esta práctica. Pero tiene muchas otras limitaciones, en cuanto a similaridad con los instrumentos reales, o habilidades que este no atiende.

A continuación, sigue el último capítulo de este trabajo, donde se presenta la conclusión de toda esta investigación, como también las recomendaciones para futuros estudios.

5 CONCLUSIONES

Siguiendo el método de *Design Science* es importante aclarar que los resultados aquí encontrados se limitan a la evaluación del producto desarrollado y testado que en este caso fue un sistema de entrenamiento en realidad virtual inmersiva para cirugía video laparoscópica, por lo tanto, no se deben tomar estos resultados como aplicables para todos los productos que implementan esta tecnología, y si como una referencia de un producto que implementa esta tecnología bajo ciertas condiciones. Se resalta esto porque este producto es bastante limitado en relación a todo lo que puede abarcar el aprendizaje de cirugía video laparoscópica, por lo tanto, estos resultados hacen referencia a la usabilidad del entrenamiento para tocar masas y así lograr la práctica psicomotriz de esta habilidad a través de la realidad virtual inmersiva. Bajo esta condición se podría decir que el producto si tiene potencial para esta práctica, pero en cuanto a su nivel de eficiencia, para el desarrollo de esta habilidad psicomotriz, es algo que debe ser investigado a futuro a través de grupos comparativos, un grupo que entrena de forma tradicional, y otro grupo que entrena con este producto. Para así analizar como fue el desempeño de cada grupo de acuerdo con la practica realizada. Esto debido a que en esta investigación se evaluó simplemente la usabilidad del producto para esta práctica. No se hizo un estudio con grupos comparativos, por causa del tiempo que conlleva un análisis de este tipo. Además hacer un análisis comparativo entre grupos, conllevaría a evaluar el rendimiento de los cirujanos durante una cirugía video laparoscópica real, después de cierto tiempo de haber practicado con el producto aquí desarrollado, o de haber practicado de forma tradicional, lo cual sale del alcance de este estudio, recordando que de acuerdo al método de *Design Science*, lo que es evaluado en este caso es la usabilidad del producto y no cuanto mejoró el rendimiento en la habilidad de tocar masas de los cirujanos en video laparoscopia.

La investigación científica aplicada al diseño con nuevas tecnologías requiere una actualización continua. Porque cada año aparecen nuevas actualizaciones de software y hardware, que requieren la adaptación de soluciones continuamente. Por lo tanto, los resultados encontrados en esta investigación deben actualizarse continuamente de acuerdo con las nuevas tecnologías que aparecen en el mercado. Por esta razón, el método enfatizó los ciclos iterativos de la investigación científica del diseño, ya que no hay un punto final de llegada, sino un punto final de un ciclo que

puede continuar con otro nuevo ciclo de actualización de una nueva versión para evaluar.

La realidad virtual inmersiva, en el entrenamiento de la cirugía video laparoscópica, está evolucionando. Los ciclos pueden ayudar a continuar este proceso de investigación científica no solo para los autores de este estudio, sino también para futuros investigadores que quieran profundizar en el desarrollo del sistema propuesto en esta investigación.

Tener una base clara de cómo se diseñó, desarrolló y evaluó cada uno de los ciclos para ver qué podría haber sido diferente o qué se podría agregar generando diversas adaptaciones en el sistema. Los ciclos también permiten una validación rápida y continua del prototipo con los usuarios, porque no es necesario esperar a un desarrollo definitivo del sistema para evaluar su impacto, sino que se evalúa por versiones, validando nuevos elementos de cada versión, agilizando así un prototipo que efectivamente genera valor en las necesidades del usuario.

REFERENCIAS

ALVAREZ, L. F.; MAINA, M. F. M. F.; SAIGÍ, R. F. Use of a low-cost portable 3d virtual reality gesture-mediated simulator for training and learning basic psychomotor skills in minimally invasive surgery: Development and content validity study. *Journal of Medical Internet Research*, v. 22, n. 7, 1 jul. 2020.

ARMAS, P. B. A. Apuntes históricos necesarios en colecistectomía laparoscópica. *Gaceta Médica Espirituana*, v. 21, n. 2, p. 8-12, 2019.

BLOOM, B. S. Taxonomy of educational objectives: The classification of educational goals. Cognitive domain, 1956.

CAVALINI, W. L. P.; et al. Desenvolvimento de habilidades laparoscópicas em estudantes de Medicina sem exposição prévia a treinamento cirúrgico. *Einstein (São Paulo)*, v. 12, n. 4, p. 467-472, 2014.

CATAPAN, M. F.; MERCADO, F. A. P.; ALMEIDA, L. G. G.; et al. Acessibilidade Em Treinamentos De Cirurgias Endoscópicas Através Da Virtualização Imersiva: O Estado Da Arte. 2021.

CATAPAN, M. F.; MERCADO, F. A. P.; ALMEIDA, L. G. G. DE; et al. Diseño de entrenamientos en realidad virtual inmersiva para cirugía endoscópica Design of immersive virtual reality training for endoscopic surgery. , p. 2–27, 2022.

CHAI, M; TYNG, H. U.; AMIN, M. N.; SAAD, A.; AAMIR, S. M. The Influences of Emotion on Learning and Memory. *Frontiers in Psychology* 2017.

CHHEANG, V. et al. Toward interprofessional team training for surgeons and anesthesiologists using virtual reality. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, v. 15, n. 12, p. 2109–2118, 1 dez. 2020.

DATASUS, Tecnologia da Informação a Serviço do SUS. Procedimentos hospitalares do SUS em colecistectomia. 2021. <

<http://tabnet.datasus.gov.br/cgi/tabcgi.exe?sih/cnv/qiuf.def>>. Acesso em 10 de agosto de 2021

DEL CASTILLO, Y. Mario A. Primera colecistectomía laparoscópica en el Perú. Revista de la Sociedad Peruana de Medicina Interna, v. 34, n. 1, p. 45-47, 2021.

ELESSAWY, M. et al. Evaluation of Laparoscopy Virtual Reality Training on the Improvement of Trainees' Surgical Skills. MEDICINA-LITHUANIA, v. 57, n. 2, 2021.

ELLISON, C.; ZOLLINGER, R. Zollinger, atlas de cirurgia. 10o ed. 2018.

FRIEDRICH, M. et al. Study protocol for a randomized controlled trial on a multimodal training curriculum for laparoscopic cholecystectomy – LapTrain. International Journal of Surgery Protocols, v. 5, p. 11–14, 2017.

GASPERIN, B. D. M. B. D. M.; ZANIRATI, T.; CAVAZZOLA, L. T. L. T. L. T. CAN VIRTUAL REALITY BE AS GOOD AS OPERATING ROOM TRAINING? EXPERIENCE FROM A RESIDENCY PROGRAM IN GENERAL SURGERY. Arquivos brasileiros de cirurgia digestiva : ABCD = Brazilian archives of digestive surgery, v. 31, n. 4, p. e1397, 6 dez. 2018.

GUEDES, H. G. et al. Virtual reality simulator versus box-trainer to teach minimally invasive procedures: A meta-analysis. International Journal of Surgery, v. 61, p. 60–68, 1 jan. 2019.

GUTIÉRREZ, F.; PIERCE, J.; VERGARA, V. M.; COULTER, R.; SALAND, L.; CAUDELL, T.P.; GOLDSMITH, T.E.; ALVERSON, D.C. The effect of degree of immersion upon learning performance in virtual reality simulations for medical education. Stud Health Technol Inform, 125:155-60. 2007.

HAGELSTEEN, K. et al. Performance and perception of haptic feedback in a laparoscopic 3D virtual reality simulator. Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies, v. 28, n. 5, p. 309–316, 2019.

HASAN, O.; IQBAL, S. A framework for laparoscopic simulations. Journal of the Pakistan Medical Association, v. 67, n. 9, p. 1404–1409, 1 set. 2017.

HOOPEs, S. et al. Home Surgical Skill Training Resources for Obstetrics and Gynecology Trainees during a Pandemic. *Obstetrics and Gynecology*, v. 136, n. 1, p. 56–64, 1 jul. 2020.

KATZ, D.; SHAH, R.; KIM, E.; PARK, C.; SHAH, A.; LEVINE, A.; BURNETT, G. Utilization of a Voice-Based Virtual Reality Advanced Cardiac Life Support Team Leader Refresher: Prospective Observational Study. *J Med Internet Res*, Mar 12;22(3): e17425. 2020.

KHAN, Z. A. et al. SmartSIM - a virtual reality simulator for laparoscopy training using a generic physics engine. *International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, v. 13, n. 3, 2017.

KHOO, H. C. et al. Virtual reality laparoscopic simulator: Training tool for surgical trainee in Malaysia. *Formosan Journal of Surgery*, v. 54, n. 1, p. 11–18, 2021.

KORZENIOWSKI, P. et al. Validation of NOViSE: A novel natural orifice virtual surgery simulator. *Surgical Innovation*, v. 24, n. 1, p. 55–65, 2017.

KOSIERADZKI, M. et al. Motivating medical students using virtual reality based education. *Surgical Videolaparoscopy*, v. 31, n. 1, p. 1–8, 2020.

LEITE, B. Aprendizagem tecnológica ativa. *Revista Internacional de Educação Superior*, Campinas, SP, v. 4, n. 3, p. 580–609, 2018.

LESCH, H. et al. VR Simulation Leads to Enhanced Procedural Confidence for Surgical Trainees. *Journal of Surgical Education*, v. 77, n. 1, p. 213–218, 1 jan. 2020.

MERCADO, F. A. P.; GOMES, L. A.; CATAPAN, M. F. Proposta de Treinamento por Videolaparoscopia Através da Virtualização Imersiva, p. 121 -130. In: *Novos Horizontes da Pesquisa em Design: Coletânea de estudos do PPGDesign/UFPR*. São Paulo: Blucher, 2022.

ISBN: 9786555502312, DOI 10.5151/9786555502312-07

MERCADO, F. A. P.; GOMES, L. A.; CATAPAN, M. F. Proposal of a low-cost laparoscopy video surgery simulator using virtual reality. *Revista Gestão e Conhecimento*, [S. l.], v. 15, n. 1, p. 2–27, 2021. Disponível em: <https://revistagc.com.br/ojs/index.php/rgc/article/view/155>. Access in: 15 jan. 2023.

NACUL, M. P.; CAVAZZOLA, L. T.; MELO, M. C. Situação atual do treinamento de médicos residentes em videocirurgia no Brasil: uma análise crítica. *ABCD. Arquivos Brasileiros de Cirurgia Digestiva (São Paulo)*, v. 28, n. 1, p. 81-85, 2015.

NIELSEN, J. Why You Only Need to Test with 5 Users. 2000. < <https://www.nngroup.com/articles/why-you-only-need-to-test-with-5-users/> > Acesso em 17 de março de 2022.

NIELSEN, J. Enhancing the explanatory power of usability heuristics. In: *Proceedings of the SIGCHI conference on Human Factors in Computing Systems*. 1994. p. 152-158.

NIELSEN, J.; LANDAUER, T. K. A mathematical model of the finding of usability problems, *Proceedings of ACM INTERCHI'93*, pp. 206-213, 24-29 April 1993.

ÖSTERBERG, J. et al. Can 3D Vision Improve Laparoscopic Performance in Box Simulation Training when Compared to Conventional 2D Vision? *Folia medica*, v. 61, n. 4, p. 491–499, 2019.

PORTO, J. T. et al. Use of simulators in video laparoscopic surgery in medical training: A prospective cohort study with medicine academic at a university in Southern Brazil | Uso de simuladores em cirurgia videolaparoscópica na formação médica: Estudo prospectivo de coorte c. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*, v. 47, p. 1–8, 2020.

RATEKE, T. Técnicas Estatísticas. Lapix, 2021. < <https://lapix.ufsc.br/ensino/reconhecimento-de-padroes/tecnicas-estatisticas/?lang=en> >. Acesso em 15 de novembro de 2021.

SANKARANARAYANAN, G.; WOOLEY, L.; HOGG, D.; DOROZHKIN, D.; OLASKY, J.; CHAUHAN, S.; FLESHMAN, J.W.; SCOTT, D.; JONES, D.B. Immersive virtual reality-

based training improves response in a simulated operating room fire scenario. *Surg Endosc.* 2018 Aug;32(8):3439-3449.

SANTOS, A. S. et al. Seleção do Método de Pesquisa: Guia para pós-graduando em design e áreas afins. Insight, 2018. <https://www.researchgate.net/publication/332767198_O_RG_A_N_I_Z_AC_AO_Selecao_do_Metodo_de_Pesquisa_GUIA_PARA_POS-GRADUANDOS_EM_DESIGN_E_AREAS_AFINS>. Acesso em 15 de maio de 2021.

SATTAR, M. U. et al. Effects of virtual reality training on medical students' learning motivation and competency. *Pakistan Journal of Medical Sciences*, v. 35, n. 3, p. 852–857, 2019.

SCHEFFER, M. et al. Demografia médica no Brasil 2020. São Paulo: FMUSP, CFM, 2020.

SIRIMANNA, P.; GLADMAN, M. A. Development of a proficiency-based virtual reality simulation training curriculum for laparoscopic appendectomy. *ANZ Journal of Surgery*, v. 87, n. 10, p. 760–766, 2017.

UFPR, universidade federal do paraná. Residentes da ufpr passam a contar com tecnologia de simulação cirúrgica no hc, 2021. Disponível em: [<https://www.ufpr.br/porta.ufpr/noticias/residentes-da-ufpr-passam-a-contar-com-tecnologia-de-simulacao-cirurgica/>]

VAPENSTAD, C. et al. Lack of transfer of skills after virtual reality simulator training with haptic feedback. *MINIMALLY INVASIVE THERAPY & ALLIED TECHNOLOGIES*, v. 26, n. 6, p. 346–354, 2017.

YIASEMIDOU, M. et al. "Take-home" box trainers are an effective alternative to virtual reality simulators. *Journal of Surgical Research*, v. 213, p. 69–74, 1 jun. 2017.

ZAHIRI, M. et al. Virtual Reality Training System for Anytime/Anywhere Acquisition of Surgical Skills: A Pilot Study. *MILITARY MEDICINE*, v. 183, p. 86–91, 2018.