

Desarrollo de una interfaz de usuario de realidad virtual para el entrenamiento de la terapia ECMO (Oxigenación por membrana extracorpórea) en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

Alexandra Vega (1), Lizeth Natalia Velasco (2)

Trabajo de Grado para Optar al Título de Diseñadora Industrial

Director

Mg Luis Eduardo Bautista Rojas

Codirector

PhD Lola Xiomara Bautista Rozo

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Físico-mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

- A Dios, a mis padres y mi hermano Daniel, una familia UIS.
 - Alexandra Vega Camelo

- A Dios por darme la gracia de realizar este proyecto, a mis padres y hermanas que son mi mayor motivación y me acompañaron incondicionalmente en este camino.
 - Lizeth Natalia Velasco Uribe

Agradecimientos

Queremos agradecer a Dios por darnos la fuerza para culminar este proyecto tan importante para nosotras. A nuestras familias que con su apoyo incondicional hicieron de este proceso una experiencia más amena y única. A nuestros tutores por su infinita paciencia y dedicación para guiarnos, corregirnos y darnos aliento.

Queremos agradecer también a las organizaciones que hicieron posible la realización de este proyecto. A la Fundación Cardiovascular y a su personal de salud, quienes nos abrieron las puertas y nos brindaron su apoyo desde el primer día. Al Laboratorio de Simulación de la Universidad Industrial de Santander, quienes estuvieron dispuestos a facilitar sus instalaciones para esta investigación. A Minciencias y la organización de 100K Strong in the Americas por promover proyectos de investigación de alto nivel y facilitar las herramientas para esto. Y finalmente a nuestra alma máter, la Universidad Industrial de Santander, por ser el pilar de nuestra formación como Diseñadoras Industriales, así como de las próximas generaciones.

Tabla de Contenido

		Pág.
1.	Introducción	13
1.1.	Planteamiento del problema de diseño.....	14
1.2.	Objetivos	16
1.2.1.	Objetivo general	16
1.2.2.	Objetivos específicos	17
1.3.	Alcances	17
1.4.	Metodología	17
1.4.1.	Análisis de tareas	18
1.4.1.1.	Primer acercamiento y observación de una simulación tradicional.	19
1.4.1.2.	Análisis de las Necesidades de Formación (ENT).	19
1.4.1.3.	Definición de un procedimiento estándar	23
1.4.1.3.1.	Análisis cognitivo de la tarea.	23
1.4.1.3.2.	Concur Task Tree (CTT) o Árbol de Tareas Concurrentes.	24
1.4.2.	Bosquejo del escenario de capacitación	25
1.4.2.1.	Construcción de niveles y escenarios.	26
1.4.3.	Implementación	28
1.4.3.1.	Construcción de la interfaz.	29
1.4.3.2.	Verificación.	29
1.4.3.3.	Validación con usuarios.	30
2.	Fase de observación e investigación	30
2.1.	Marco teórico	31
2.1.1.	Realidad virtual	31
2.1.2.	Realidad virtual aplicada al entrenamiento.	32
2.1.3.	Simuladores virtuales.	32
2.1.4.	Interfaz de usuario.	33
2.1.5.	Entrenamiento en medicina.	34
2.1.6.	Medicina Crítica.	34
2.1.7.	Terapia ECMO.	35

2.1.8.	Antecedentes de la situación de estudio.	37
2.1.8.1.	Virtual reality device training for extracorporeal membrane oxygenation. concretos de la aplicación de este prototipo (Georg et al., 2020).	39
2.1.8.2.	Impact of Simulation-Based Extracorporeal Membrane Oxygenation Training in the Simulation Laboratory and Clinical Environment.	40
2.1.8.3.	A Review on Virtual Reality Skill Training Applications.	41
2.1.8.4.	Comparing the effectiveness of augmented reality-based and conventional instructions during single ECMO cannulation training.	42
3.	Fase de formulación de la propuesta	43
3.1.	Propuesta de solución al problema de diseño.....	44
3.2.	Alcance: ámbito de aplicación y usuarios	44
4.	Implementación y Evolución de la propuesta	45
4.1.	Diseño de la Interfaz Gráfica.....	45
4.1.1.	Definición de usuario	45
4.1.2.	Escenario	46
4.1.3.	Storyboard	47
4.1.4.	Design Kit	48
4.2.	Estructura de actividades de la interfaz.....	49
4.2.1.	Tutorial	49
4.2.2.	Procedimiento médico	52
4.3.	Verificación de Requerimientos.....	60
4.3.1.	Protocolo	60
4.3.2.	Unidad Experimental	61
4.3.3.	Tratamientos	61
4.3.4.	Recursos	62
4.3.5.	Preparación de la prueba	62
4.3.6.	Resultados	63
4.3.6.1.	Heurísticas de Nielsen.	64
4.3.6.2.	Interfaz de usuario.	65
5.	Fase de Evaluación.....	78
5.1.	Protocolo	79

5.2.	Unidad Experimental.....	80
5.3.	Tratamientos.....	81
5.4.	Recursos	81
5.5.	Preparación de la prueba	82
5.6.	Resultados	82
5.6.1.	Nivel de usabilidad	83
5.6.2.	Nivel de fidelidad	87
5.6.3.	Objetivos de aprendizaje	89
7.	Conclusiones	95
8.	Bibliografía.....	96

Lista de Tablas

	Pág.
Tabla 1 Fragmento de encuesta priorización de requerimientos	17
Tabla 2 Especificación de Requisitos de Producto (PRS)	18
Tabla 3 División de los niveles y escenarios de la Fase II	24
Tabla 4 Diagrama de L invertido	35
Tabla 5 Fragmento de la estructura del Escenario 2.1, Nivel 2	45
Tabla 6 Descripción de las pantallas y actividades del Tutorial	48
Tabla 7 Descripción de las pantallas y actividades del Procedimiento	52
Tabla 8 Requerimientos Verificación	57
Tabla 9 Recursos para realizar las pruebas de verificación	59
Tabla 10 Caracterización de participantes para la prueba de verificación	60
Tabla 11 Descripción de pantallas y actividades del Procedimiento modificado	67
Tabla 12 Requerimientos a evaluar con usuarios	75
Tabla 13 Recursos para las pruebas de evaluación con usuarios	77
Tabla 14 Caracterización de participantes para la evaluación	79
Tabla 15 Caracterización de participantes para la evaluación del nivel de usabilidad	82

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1 Simulador de baja fidelidad. Fundación Cardiovascular de Colombia.....	15
Figura 2 Simulador de alta fidelidad. Fundación Cardiovascular de Colombia.....	15
Figura 3 Diagrama general del enfoque metodológico	17
Figura 4 Evaluación de resultados Modelo KANO.....	20
Figura 5 Fragmento del Análisis Cognitivo de tareas (CTA). Fase II - Sección Venó-Arterial ...	23
Figura 6 Fragmento del Concur Task Tree (CTT). Sección Venó-Arterial, Tarea 2	24
Figura 7 Descripción del Nivel 1 a través del "Modelo 4C / ID"	27
Figura 8 Descripción Fase 2, Nivel 1, Escenario 1,1	27
Figura 9 Estructura del desarrollo de la fase de observación e investigación	30
Figura 10 Esquema de Circuito ECMO usado por la Fundación Cardiovascular de Colombia ...	36
Figura 11 Dispositivos y entorno usado en el estudio.....	39
Figura 12 Representación de información proporcionada a los usuarios en el estudio.....	42
Figura 13 Estructura del desarrollo de la fase de formulación de la propuesta.....	43
Figura 14 Prototipo Persona del proyecto	46
Figura 15 Storyboard del procedimiento.....	47
Figura 16 Design Kit del diseño de la interfaz	48
Figura 17 Diagrama de Flujo del Tutorial.....	50
Figura 18 Diagrama de Flujo del Procedimiento	52
Figura 19 Imagen de 4 participantes de la muestra	63
Figura 20 Resultados verificaciones.....	64
Figura 21 Design kit después de las modificaciones.....	65

Figura 22 Diseño de pantallas antes de realizar la modificación	66
Figura 23 Diseño pantalla Lectura	67
Figura 24 Diseño pantalla Acción.....	68
Figura 25 Diseño pantalla Responder	68
Figura 26 Diseño pantalla Riesgos	69
Figura 27 Diagrama de Flujo del Tutorial modificado.....	69
Figura 28 Diagrama de Flujo del Procedimiento Canulación modificado	70
Figura 29 Diseño interfaz de usuario del Tutorial.....	77
Figura 30 Diseño interfaz de usuario del Procedimiento Médico	78
Figura 31 Estructura del desarrollo de la fase de evaluación de Usabilidad	78
Figura 32 Desviación Estándar Grupo #1 Estudiantes de Medicina	83
Figura 33 Desviación Estándar Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO	84
Figura 34 Desviación Estándar Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO	84
Figura 35 Resultado Eficacia	85
Figura 36 Resultado Satisfacción	86
Figura 37 Resultado Nivel de Fidelidad.....	87
Figura 38 Desviación Estándar - Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO	88
Figura 39 Desviación Estándar - Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO.....	88
Figura 40 Resultado evaluación de los objetivos de aprendizaje	90
Figura 41 Desviación estándar de los 3 grupos de participantes en el Test de Retención	90
Figura 42 Desviación estándar de los 3 grupos de participantes en el Test de Conocimiento Previo	92

Anexos

	Pág.
Ver Anexo A	17
Ver Anexo B.....	19
Ver Anexo C.....	20
Ver Anexo D	23
Ver Anexo E.....	24
Ver Anexo F	27
Ver Anexo G	38
Ver Anexo H	45
Ver Anexo I.....	48
Ver Anexo J.....	50
Ver Anexo K	52
Ver Anexo L.....	63
Ver Anexo M.....	65
Ver Anexo N	69
Ver Anexo Ñ	70
Ver Anexo O	77
Ver Anexo P	87
Ver Anexo Q	89
Ver Anexo R.....	90

Resumen

Título: Desarrollo de una interfaz de usuario de realidad virtual para el entrenamiento de la terapia ECMO (Oxigenación por membrana extracorpórea) en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV)^{1*}.

Autor: Lizeth Natalia Velasco Uribe(1), Alexandra Vega Camelo(2), Luis Eduardo Bautista Rojas(3), Lola Xiomara Bautista Rozo(4)^{2**}

Palabras Clave: Realidad Virtual, Realidad Aumentada, ECMO, Entrenamiento médico, habilidades, insuficiencia cardio respiratoria, interfaz de usuario.

Descripción: Las nuevas tecnologías y su interrelación con la formación universitaria, especialmente en el campo médico, han evolucionado al punto de convertir las simulaciones en una base fundamental del entrenamiento, pues estas cumplen adecuadamente el objetivo de mejorar el conocimiento de los aprendices, así como la adquisición de múltiples competencias tanto técnicas como no técnicas. Actualmente, los entrenamientos de simulación física - presencial requieren métodos y materiales que representan una gran inversión de costo y tiempo, además, el desarrollo de estos escenarios resulta complejo. Esto ha demostrado la necesidad de contar con herramientas que permitan llevar a cabo los entrenamientos médicos de manera más eficaz y efectiva. Consecuentemente, se ha acelerado el desarrollo de nuevas estrategias de formación que involucran estudios a través de la virtualidad, las Tecnologías de Información y comunicación (TIC) y los sistemas de simulación de Realidad Extendida (XR) tales como la Realidad Virtual (RV) y la Realidad Aumentada (RA). Teniendo en cuenta lo anterior, en este proyecto se propone el desarrollo de una interfaz de usuario de Realidad Virtual, para el entrenamiento del procedimiento de canulación en terapia ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation), pues además de ser un procedimiento que puede asegurar un papel vital en la insuficiencia cardio-respiratoria grave, la interrelación de este equipo con el desarrollo de escenarios de realidad virtual que obedezcan a las necesidades formativas, daría la capacidad de ampliar la cobertura de las sesiones de entrenamiento, reduciendo el costo y tiempo requerido para realizar el procedimiento. Así mismo, funcionaría como una herramienta de apoyo teórico para la primera fase del curso ofrecido por la Fundación Cardiovascular (FCV), en la que los cardiólogos en entrenamiento deben familiarizarse con los instrumentos y el paso a paso de la terapia ECMO.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**} Universidad Industrial de Santander. Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas. Mg Ingeniería de Sistemas. Codirector: Lola Xiomara Bautista Rozo. PhD. Procesamiento de Imágenes y Señales Digitales. Autores: Lizeth Natalia Velasco Uribe y Alexandra Vega Camelo. Estudiantes de Diseño Industrial.

Abstract

Title: Development of a virtual reality user interface for ECMO (extracorporeal membrane oxygenation) therapy training at the Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV)^{1*}.

Author: Lizeth Natalia Velasco Uribe(1), Alexandra Vega Camelo(2), Luis Eduardo Bautista Rojas(3), Lola Xiomara Bautista Rozo(4)^{2**}

Keywords: Virtual Reality, Augmented Reality, ECMO, Medical training, skills, cardio respiratory failure, user interface.

Description: New technologies and their interrelation with university training, especially in the medical field, have been evolving to the point of making simulations a fundamental basis for training, since they adequately fulfill the objective of improving cognitive knowledge, as well as the acquisition of multiple technical and non-technical competencies. Currently, physical simulation training requires methods and materials that represent a great investment of cost and time, since the instructors who prepare the scenario must repeat the construction of the prototype per participant, and they must wait for it to be ready to use it. This has demonstrated the need for tools that allow medical training to be carried out more efficiently and effectively. Consequently, the development of new training strategies involving studies through virtuality, Information and Communication Technologies (ICT) and Extended Reality (XR) simulation systems such as Virtual Reality (VR) and Augmented Reality (AR) has accelerated. Considering the above, this project proposes the development of a Virtual Reality user interface for the training of the cannulation procedure in ECMO (Extracorporeal Membrane Oxygenation) therapy, because besides being a procedure that can ensure a vital role in severe cardio-respiratory failure, the interrelation of this equipment with the development of virtual reality scenarios that meet the training needs, would give the ability to expand the coverage of training sessions, reducing the cost and time required to perform the procedure. It would also function as a theoretical support tool for the first phase of the course offered by the Cardiovascular Foundation (FCV), in which cardiologists in training must familiarize themselves with the instruments and the step-by-step of ECMO therapy.

1. Introducción

El entrenamiento basado en simulación se fundamenta en la sustitución de la realidad por un escenario simulado en el que estudiantes y profesionales pueden entrenar para adquirir habilidades de comunicación, psicomotrices o de trabajo en equipo (Vázquez-Mata & Guillamet-Lloveras, 2009). Actualmente existen una serie de circunstancias que aconsejan que el entrenamiento en simulación antecede a las actividades en la cabecera del paciente (Vázquez et al., 2008), como lo son el acortamiento de la curva de aprendizaje, el aumento de la seguridad de los pacientes por la disminución de errores, entre otras. En este orden de ideas se puede hablar de la simulación como una base fundamental de las prácticas en el campo médico y que cumplen adecuadamente el objetivo de mejorar el conocimiento cognitivo, así como la adquisición de múltiples competencias tanto técnicas como no técnicas.

Por otro lado, es necesario conocer que la terapia ECMO permite reemplazar totalmente la función cardíaca y respiratoria (Torregrosa et al., 2009). Actualmente la Fundación Cardiovascular FCV ofrece el “Curso de Especialista en ECMO”, un entrenamiento completo y práctico que enseña las competencias fundamentales para hacer un cuidado seguro e integral del paciente en ECMO (Fundación Cardiovascular FCV, 2019). Ahora bien, la modalidad de enseñanza ha cambiado radicalmente en los últimos años, haciendo más notorias las limitaciones de los entrenamientos presenciales y de los equipos, el desarrollo de la fase de entrenamiento de esta técnica se enfrenta a dificultades como los altos costos en el mantenimiento de los materiales para las simulaciones.

Finalmente, se ha demostrado que el entrenamiento óptimo del proceso de canulación en ECMO está relacionado con la disminución de la tasa de mortalidad (Xie et al., 2021a) y que la

formación por medio de simuladores virtuales ha probado cumplir con el objetivo (Giro et al., 2017). Es así como se plantea el desarrollo de una interfaz de simulación de Realidad Virtual que funcione como una herramienta complementaria a los entrenamientos que ofrece la Fundación Cardiovascular FCV en el “Curso de Especialista en ECMO”, específicamente se centrará en la quinta fase del programa: MANEJO DEL PACIENTE EN ECMO VENO-ARTERIAL, proceso que inicia en la canulación del paciente y finaliza con la conexión a ECMO.

1. Aspectos Generales

A continuación, se presentan; la situación de estudio del proyecto, los objetivos y los resultados que se deseaban obtener, así como las posibles circunstancias que delimitan el proyecto y finalmente se muestra la estructura metodológica que permitió el cumplimiento de los objetivos.

1.1.Planteamiento del problema de diseño

ECMO es una técnica que permite reemplazar totalmente la función cardíaca y respiratoria, y cumple como un corazón o pulmón artificial (Torregrosa et al., 2009). Este tipo de tratamiento se usa cuando un paciente está muy grave y ningún otro soporte es adecuado, es una técnica con una alta complejidad tecnológica (Kiran et al., 2013). Sin embargo, el método para su entrenamiento sigue sin ser lo suficientemente preciso, pues las herramientas que utiliza la FCV se apoyan en una serie de elementos físicos, simuladores de baja, media y alta fidelidad, que limitan las posibilidades de acceso a las prácticas, tanto por la exigencia de la presencialidad como por la escasa interacción de los diferentes escenarios en donde se puede utilizar este dispositivo, además del tiempo y el esfuerzo que requiere preparar cada simulación.

Figura 1

Simulador de baja fidelidad. Fundación Cardiovascular de Colombia.



Nota. Este tipo de simuladores usa materiales como gelatina y tubos que cumplen el rol de la piel y venas, así mismo hacen uso de los elementos que se utilizan durante el proceso como cánulas, guías, agujas y ecógrafo.

Figura 2

Simulador de alta fidelidad. Fundación Cardiovascular de Colombia.



Nota. En estos simuladores se puede apreciar un procedimiento más cercano a la realidad, hay retorno de líquidos, el monitor de signos vitales que cambia según las decisiones de los participantes y la resistencia del tejido de la piel es similar a la de una persona.

En ese orden de ideas, se observa que las limitaciones del entrenamiento presencial para el uso del sistema ECMO actualmente generan consecuencias que podrían ser evitadas, tales como, el gasto de presupuesto en materiales para las simulaciones físicas, las complicaciones durante el proceso que hacen dudar de la eficacia del tratamiento, la exigencia de la presencialidad, el número reducido de personas que pueden acceder a los entrenamientos y las pocas posibilidades para que los involucrados realicen las repeticiones necesarias. El diseño de experiencias de Realidad Virtual se posiciona como un medio clave que permite dar soluciones concretas, facilitando horas de práctica previas al uso de un equipo real.

Teniendo en cuenta que la tecnología y la medicina se interrelacionan para crear entornos que facilitan la adquisición de habilidades y destrezas, se plantea el desarrollo de una interfaz de simulación de Realidad Virtual (RV) y Realidad Aumentada (RA) que mejore el aprendizaje durante los entrenamientos y además permita utilizarse como herramienta de práctica virtual, con el objetivo de proveer una preparación previa al simulador físico.

1.2.Objetivos

1.2.1.Objetivo general

Crear una interfaz de usuario de realidad virtual (RV) que permita simular un escenario de entrenamiento para la terapia ECMO (Sistema de Oxigenación por Membrana Extracorpórea) con el fin mejorar el aprendizaje de los cardiólogos del equipo de medicina crítica.

1.2.2. Objetivos específicos

Identificar las condiciones que se requieren para llevar la práctica actual de entrenamiento presencial a un entrenamiento virtual, apoyado en una interfaz de Realidad Virtual.

Diseñar una interfaz de usuario en Realidad Virtual que guíe el proceso de entrenamiento de canulación para la terapia ECMO

Evaluar la usabilidad de la interfaz de usuario de Realidad Virtual en términos de eficiencia y eficacia con un grupo de expertos en medicina crítica de la Fundación Cardiovascular FCV.

1.3. Alcances

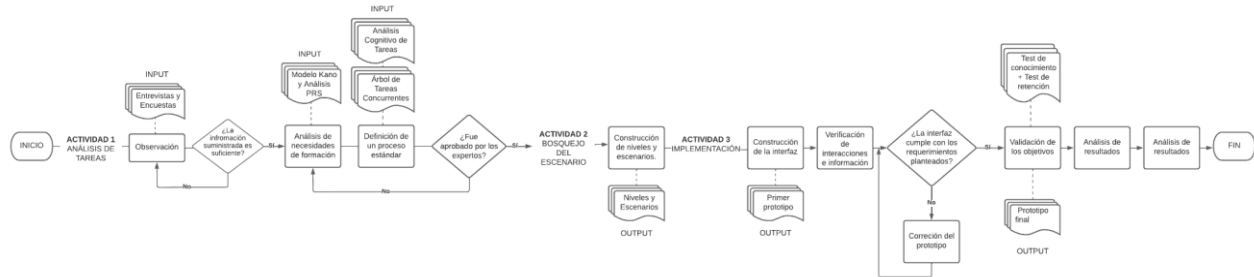
El nivel del alcance de este proyecto fue determinado teniendo en cuenta los objetivos y los niveles de preparación tecnológica ó Technology Readiness Levels (TRL), un sistema de medición sistemático que apoya la evaluación de la madurez de una tecnología (Mankins, 1995). En este caso de estudio se propuso llegar hasta la Fase 4 “Validación de componentes en entorno de laboratorio”, por lo que se realizaron una serie de pruebas para obtener el grado de usabilidad al que la interfaz de entrenamiento responde.

1.4. Metodología

El proceso de creación en realidad virtual se puede dividir en tres etapas: 1) análisis de tareas, 2) bosquejo del escenario de capacitación y 3) implementación (Xie et al., 2021a).

Figura 3

Diagrama general del enfoque metodológico. [Ver Anexo A](#)



Nota. El gráfico representa el paso a paso del planteamiento metodológico con el que se llevó a cabo el proyecto.

1.4.1. Análisis de tareas

Esta etapa tuvo como objetivo establecer las necesidades de formación para tareas específicas y resumir todos los factores que deberían estar involucrados en el sistema durante el proceso de diseño (Xie et al., 2021a), se compone de 3 fases:

1.4.1.1. Primer acercamiento y observación de una simulación tradicional. Esta primera consistió en recolectar la mayor información posible que permita segmentar el paso a paso del procedimiento. Como herramientas de recolección de datos se utilizan entrevistas directas con los expertos, en donde es vital conocer detalles como las posibles complicaciones y la prioridad que normalmente se asigna a cada una de las tareas. Se realizó una visita a la Fundación Cardio Vascular en la que se observó una simulación del procedimiento de canulación, normalmente utilizada en el curso para demostraciones con los aprendices; fue importante además conocer el nivel de control de cada una de las acciones, Norman y Shallice (Norman & Shallice, 1986) propusieron tres niveles de control de la acción; las acciones totalmente automáticas, las acciones parcialmente automáticas, y las acciones deliberadas. [Ver Anexo B](#)

1.4.1.2. Análisis de las Necesidades de Formación (ENT). Este debería ser el primer paso en el desarrollo de una intervención educativa, incluida la formación basada en simuladores (Tjiam et al., 2012), el cual obtiene como resultado los requerimientos de la interfaz y a su vez los objetivos de capacitación. Se eligió como eje principal de formación la habilidad de los participantes en la toma de decisiones y se clasificaron los requerimientos en tres categorías; usabilidad, especificaciones y objetivos de aprendizaje.

Los requerimientos se definieron teniendo en cuenta las Especificación de Requisitos Software (ERS) (Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2008), clasificados a través de la Especificación de Requisitos de Producto (PRS) (Faulk, 2001) y posteriormente se priorizaron por medio del modelo KANO con el objetivo de caracterizar los rasgos o atributos de la interfaz. En este sentido, se presentó una encuesta a los expertos de la Fundación Cardiovascular con las preguntas funcionales y no funcionales, y se evaluaron las respuestas clasificándolas con base en

las 6 dimensiones de calidad (Kano et al., 1984), lo que permitió identificar cuáles de ellos tenían mayor funcionalidad.

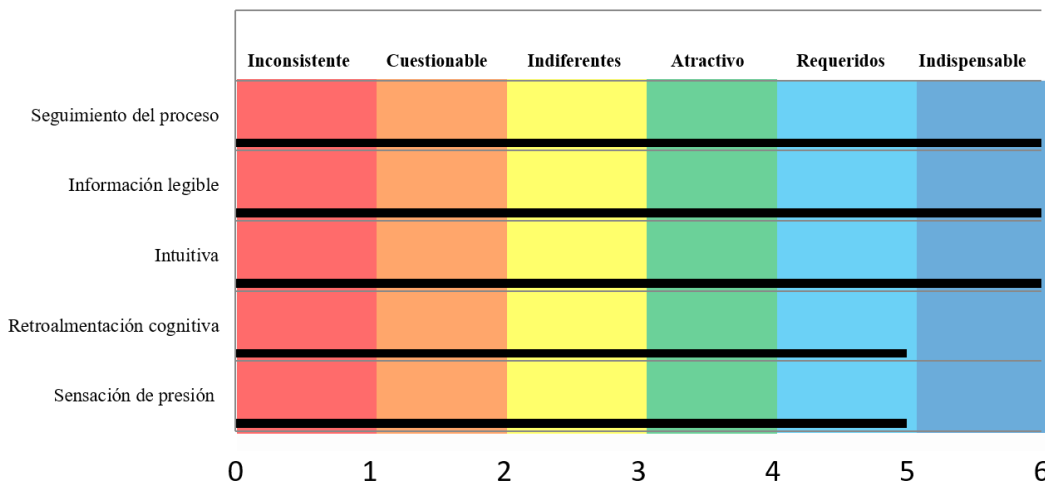
Tabla 1

Fragmento de encuesta priorización de requerimientos. [Ver Anexo C](#)

PREGUNTAS	OPCIONES DE RESPUESTA
Si la interfaz lleva un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante, ¿cómo se sentiría?	Me gusta Es algo básico Me da igual
Si la interfaz NO lleva un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante, ¿cómo se sentiría?	No me gusta, pero lo tolero No me gusta y no lo tolero

Figura 4

Evaluación de resultados Modelo KANO.



Nota. Después de aplicar las encuestas se analizaron los resultados y se obtuvo la clasificación de los requerimientos según su importancia.

Finalmente, con la información obtenida hasta el momento, se completó el PRS y se organizaron los requerimientos por categoría, definiendo los parámetros de evaluación, el valor de aceptación, el test a utilizar y su respectiva referencia o estándar.

Tabla 2

Especificación de Requisitos de Producto (PRS).

Categoría	Descripción	Parámetro	Valor aceptación	Test	Priorización	Referencias o estándares
Usabilidad	La interfaz debe llevar un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante	Valor de medición de porcentajes heurísticos.	Mayor a 50% para Bueno o Muy bueno, en cada heurística.	Heurísticas de usabilidad de Nielsen	6	(García, T., et al, 2019)
	La interfaz brinda retroalimentación cognitiva de tipo visual, auditiva y táctil.	Muy malo Malo Neutro Bueno Muy bueno			6	
	La información representada es legible y concisa				6	
	La interfaz debe ser intuitiva	Eficiencia: Tiempo que tarda en completar el procedimiento Eficacia: Nivel de éxito de la tarea, según la cantidad de solicitudes de ayuda. Éxito: 0 - 1 solicitudes Éxito parcial: 2 - 3 solicitudes Fallo: 4 + solicitudes Satisfacción:	Eficiencia: 900 a 1200 segundos Eficacia: Éxito y Éxito parcial Satisfacción: De 80 a 100 (“Aceptable” en Escala de aceptabilidad y “Excelente o Ideal” en Escala de adjetivos)	Nivel de usabilidad	5	(Blair-Early & Zender, 2008)

		Nivel de satisfacción de uso de la simulación según la Escala SUS. No aceptable: 0 - 49 Marginal: 50 - 69 Aceptable: 70 - 100				
Especificaciones	La interfaz transmite a los usuarios sensación de presión cercana a la realidad.	Indicadores para medir fidelidad en escenarios simulados, evaluados a través de la escala Likert Nivel de Fidelidad Bajo: 0 - 29 Medio: 30 - 59 Alto: 60 - 70	Mayor al 60% Entre los valores Medio y Alto	Indicadores para medir fidelidad en escenarios simulados.	5	(Coro-Montanet, et al, 2020)
Objetivos de aprendizaje	Cumplimiento de los objetivos de aprendizaje: <ul style="list-style-type: none"> ● Comprender el procedimiento de canulación dentro de la terapia ECMO ● Reconocer los posibles riesgos durante el procedimiento de canulación en terapia ECMO ● Reconocer las necesidades de un paciente en falla respiratoria y cuando es necesario un soporte veno arterial 	Nivel de conocimiento previo Bajo: 13-26 puntos Medio: 27 a 39 puntos Alto: 40 a 49 Muy alto: 50 a 52.5 Nivel de Retención Bajo: 0 - 15 puntos Medio: 16 a 34 puntos Alto: 35 a 39 Muy alto: 40 a 50	Nivel de Retención Alto o Muy alto	Test de conocimiento previo y Test de retención	6	(Cárdenas López, Sánchez & Castillo, 2016)

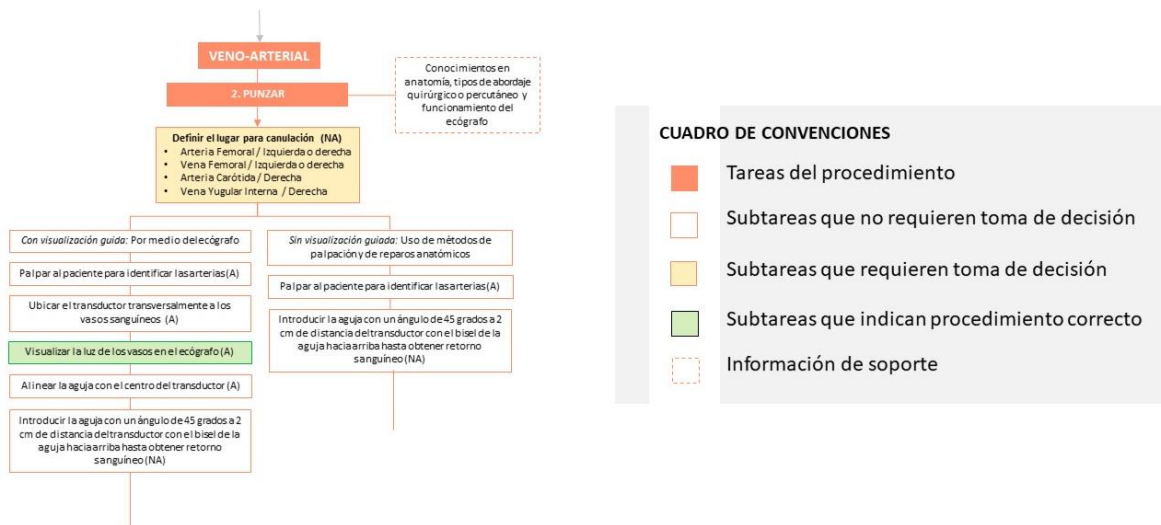
1.4.1.3. Definición de un procedimiento estándar

1.4.1.3.1. *Análisis cognitivo de la tarea.* Se procedió a desentrañar el desempeño de

los expertos en tareas complejas con el fin de capturar los procesos de pensamiento y las estructuras de metas en las que los expertos confían durante el desempeño de la tarea (Clark et al., 2008). De esta etapa resultó un diagrama de flujo que indica la estructura del procedimiento, fue clave identificar qué tareas pueden clasificarse como "Automáticas (A)"; es decir, que son realizadas sin conciencia, y cuales como "No Automáticas (NA)", que requieren atención consciente (Tjiam et al., 2012). También se clasificaron las tareas con un cuadro de convenciones que propone cinco categorías: tareas del procedimiento, sub-tareas que no requieren toma de decisión, sub-tareas que requieren toma de decisión, sub-tareas que indican procedimiento correcto y la información de apoyo. En búsqueda de cubrir los objetivos de formación, fue necesario establecer un procedimiento general de canulación estándar. Se concluye pertinente dividir el procedimiento médico en dos fases: Fase I Preparación del Equipo y Fase II Canulación y conexión al equipo ECMO.

Figura 5

Fragmento del Análisis Cognitivo de tareas (CTA). Fase II - Sección Venó-Arterial. [Ver Anexo D](#)



Nota. Se realiza un mapa conceptual en el que se desglosa el paso a paso del procedimiento de canulación y se categorizan las tareas para tener un mejor entendimiento del proceso.

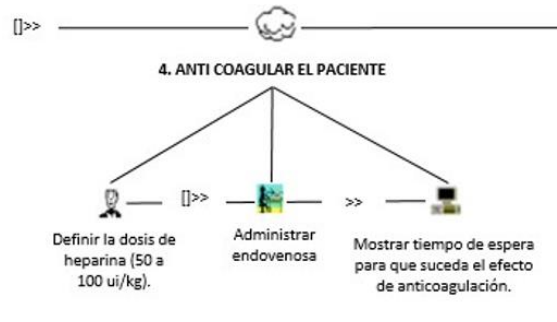
1.4.1.3.2. Concur Task Tree (CTT) o Árbol de Tareas Concurrentes. Fue posible construir el Concur Task Tree (CTT) utilizando como herramienta el Software Concur Tasks Tree Environment (Mori et al., 2002). A través del CTT se establecen los tipos de relación entre las actividades del procedimiento usando operadores temporales como elección, activación, sincronización, entre otros. Por otro lado, también describe el tipo de tarea en función de quién o qué lo ejecuta, pudiendo ser el usuario, la aplicación misma, una interacción entre ambos o una tarea ambigua el cual permite establecer los tipos de relación entre las actividades del procedimiento.

Este diagrama se dividió en dos partes, una para el procedimiento veno-venoso y otra para el veno-arterial. Cada parte consta de ocho actividades abstractas que corresponden a las tareas generales del procedimiento; definición de soporte, punzar, controlar el acceso, anticoagular al paciente, introducir dilatadores, introducir la cánula, fijación de cánulas y conexión del equipo al paciente. Estas tareas abstractas a su vez están constituidas por un paso a paso, donde se encuentran tareas de interacción y tareas del usuario o la máquina según corresponda.

Al compilar los datos en el Software CTTE se obtiene una tabla de resultados en función de la cantidad de tareas totales, así como de la cantidad de tareas por tipo, por rol y por niveles, garantizando la confiabilidad del diagrama en cuanto a funcionamiento y conteo de tareas.

Figura 6

Fragmento del Concur Task Tree (CTT). Sección Venó-Arterial, Tarea 2. Punzar. [Ver Anexo E](#)



Nota. El mapa se realiza a través del software CTTE COOP, en el que se además de plasmar el paso a paso del procedimiento de canulación. Se evidenció la interacción de cada actividad y quien es el encargado de ejecutarla.

1.4.2. Bosquejo del escenario de capacitación

Los escenarios hacen referencia a una situación desarrollada en un contexto específico, que brinda múltiples vistas de una interacción, diversos tipos y cantidades de detalles (Carroll, 1998), en el contexto de este proyecto, se habla de los escenarios como las diferentes situaciones que enfrentarían los aprendices. La construcción de los escenarios nació a partir del "Modelo 4C / ID", este propone 4 componentes claves interrelacionados: Tareas de aprendizaje, información de apoyo, información JIT y práctica de tareas parciales (Clark et al., 2008) (Van Merriënboer et al., 2007). Los dos primeros componentes promueven la adquisición de conocimientos estructurados o esquemas cognitivos y los dos restantes estimulan la automatización de esquemas y el desarrollo de procedimientos automáticos específicos (Frerejean et al., 2019).

1. Tareas de aprendizaje: en este caso, los escenarios fueron la columna vertebral del plan de instrucción y se basaron en situaciones de la vida real.
2. Información de apoyo: se adquieren nuevos conocimientos y se vinculan con los conocimientos existentes.

- Información Descriptiva: relaciona el conocimiento teórico.
 - Información Prescriptiva: las formas de abordar un problema, como la ejecución sistemática de un procedimiento.
3. Retroalimentación cognitiva: permite reflexionar sobre la calidad de la información de apoyo.
 4. Información JIT o información de procedimiento: tiene como objetivo los aspectos recurrentes y de procedimiento, proporcionando instrucciones del paso a paso y retroalimentación del desempeño de habilidades.
 5. Práctica de tareas parciales: habilidades y tareas que deben ser entrenadas a un alto nivel de automaticidad.

1.4.2.1. Construcción de niveles y escenarios. Para definir la cantidad de escenarios por nivel se tiene en cuenta la complejidad de la fase y las complicaciones del procedimiento.

Tabla 3

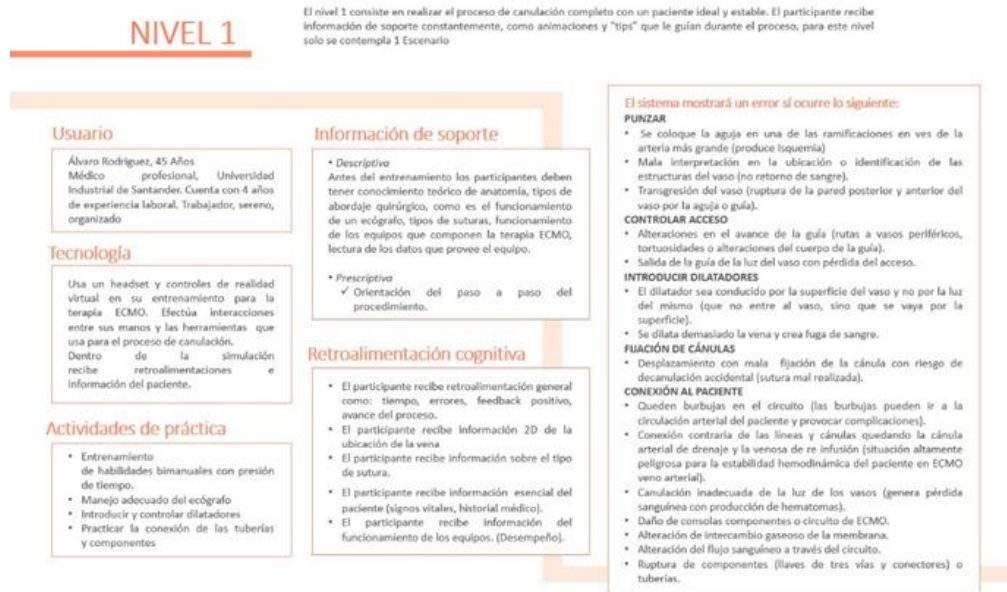
División de los niveles y escenarios de la Fase II.

FASE II	Nivel 1 - Canulación normal	Escenario 1.1 Canulación con ecógrafo
	Nivel 2 - Canulación con complicaciones	Escenario 2.1 Ecógrafo no disponible para punción
		Escenario 2.2 ECMO no cumple los objetivos
		Escenario 2.3 Paciente se torna inestable

Para cada nivel se estructura la información a través del "Modelo 4C / ID" (Clark et al., 2008) (Van Merriënboer et al., 2007), adicional a este se tiene en cuenta al usuario o participante y la tecnología. En segundo lugar, para la descripción de los escenarios se definieron los componentes principales y secundarios, el contexto, la acción o toma de decisión, la información de apoyo y la retroalimentación directa correspondiente.

Figura 7

Descripción del Nivel 1 a través del "Modelo 4C / ID". [Ver Anexo F](#)



Nota. En la imagen se puede observar cómo a partir de un usuario arquetipo se divide la información para conformar cada nivel de la simulación.

Figura 8

Descripción Fase 2, Nivel 1, Escenario 1,1.



Nota. Para describir cada escenario se tuvo en cuenta tanto las actividades que se realizaban dentro del procedimiento, así como la respuesta de la interfaz ante las acciones del participante, así mismo se reconocieron los componentes o elementos claves que harían parte del proceso.

1.4.3. Implementación

En la etapa de implementación se desarrollaron dos fases del proyecto: la construcción de la interfaz de realidad virtual; la verificación y evaluación del prototipo final con expertos.

1.4.3.1. Construcción de la interfaz. Las herramientas de desarrollo permiten la creación de nuevas interfaces. Los motores de juegos se han convertido en una de las herramientas más útiles para la implementación de esta tecnología, como lo es Unity 3D (Vázquez et al., 2008). En este programa se llevó a cabo la creación del entorno de simulación junto con otros software para modelado 3D.

1.4.3.2. Verificación. La etapa de verificación se realizó con el objetivo de corroborar los requerimientos que componen las características del prototipo de interfaz, así como encontrar puntos débiles susceptibles a mejora antes de pasar a la etapa de validación. Entre los requerimientos encontramos: la interfaz debe brindar retroalimentación cognitiva de tipo visual auditiva y táctil; la información representada debe ser legible y concisa; y finalmente, la interfaz debe llevar un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante.

Para lograr esto, la unidad experimental se definió basada en el método de muestreo no probabilístico por conveniencia. Se decidió trabajar con dos tipos de participantes, el primer grupo compuesto por 5 profesionales en salud (enfermeros o médicos) que hayan tratado a un paciente con terapia ECMO y el segundo grupo de 10 estudiantes de últimos semestres de medicina que ya hayan realizado prácticas.

La evaluación fue realizada en el Laboratorio de Simulación, Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander. El tiempo designado para cada participante fue de aproximadamente 30 minutos, en los que el participante realizó el Tutorial de la interfaz y el procedimiento de Canulación una (1) vez, posteriormente respondió el formulario de evaluación.

1.4.3.3. Validación con usuarios. La validación tiene como objetivo evaluar la interfaz planteada en términos de usabilidad, incluyendo eficiencia, eficacia y satisfacción al realizar la tarea de Canulación, de igual manera se propone evaluar los objetivos de aprendizaje durante esta fase, los cuales consisten en comprender el procedimiento de canulación dentro de la terapia ECMO, reconociendo los posibles riesgos durante el procedimiento y las necesidades de un paciente en falla respiratoria.

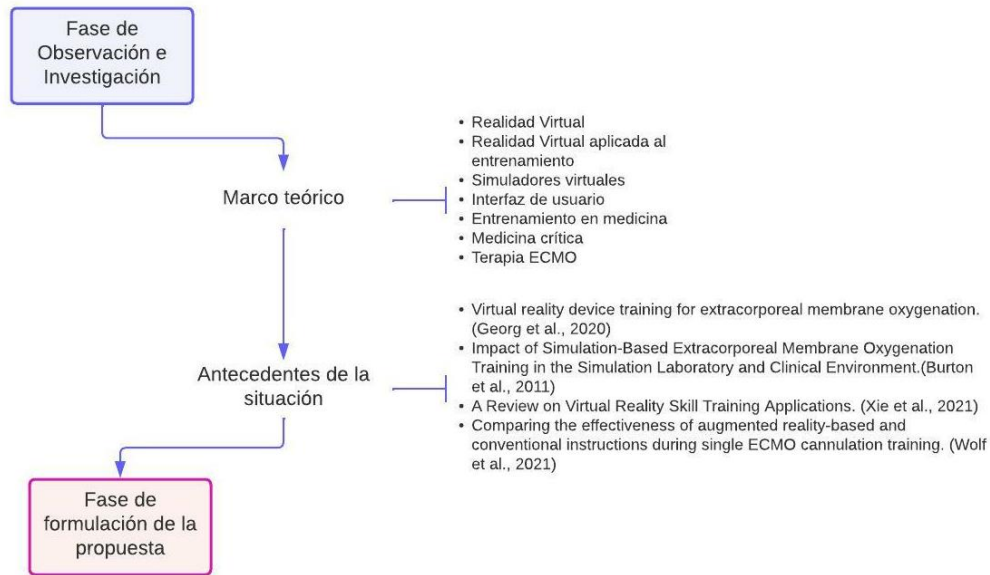
Para lograr lo planteado, la unidad experimental se definió basada en el método de muestreo no probabilístico por conveniencia. Se decidió trabajar con tres grupos de participantes, el Grupo 1 compuesto por dieciséis estudiantes de últimos semestres de medicina, el Grupo 2 compuesto por diez profesionales en salud que se encuentran en entrenamiento para terapia ECMO y el Grupo 3 compuesto por cinco profesionales en salud (enfermeros o médicos) que tengan experiencia tratando a un paciente con terapia ECMO.

La prueba se realizó en el Laboratorio de Simulación, Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander. El tiempo designado para cada participante fue de aproximadamente 60 minutos en los que realizó el procedimiento de Canulación Veno-Arterial en la simulación de realidad virtual, interfaz ALI, así como respondió a las encuestas: Test conocimiento previo, Test Retención, Test Satisfacción y Test de Fidelidad.

2. Fase de observación e investigación

Figura 9

Estructura del desarrollo de la fase de observación e investigación.



Nota. El mapa muestra el flujo de información planteado para el desarrollo de la fase.

2.1. Marco teórico

A continuación, se muestra una descripción de los términos más relevantes que se destacan en el proyecto, en primer lugar, los relacionados con la tecnología a utilizar: Realidad Virtual dirigida hacia el entrenamiento en medicina y simuladores virtuales, componentes claves para el desarrollo del escenario que se propone crear. En segundo lugar, se trata el campo de la salud, comenzando con el entrenamiento médico, una fase vital y decisiva en la vida académica del practicante; finalmente se hace referencia a ECMO, la terapia en la cual se intervendrá en su proceso de aprendizaje, allí se encuentran sus componentes y variedad de usos.

2.1.1. Realidad virtual

El ser humano aprende a partir de la experiencia y la interacción con el entorno, usa sus sentidos para obtener información. La realidad virtual es una tecnología que reemplaza esta información sensorial que recibe del mundo real con información sensorial creada por simulación por computadora (Christou, 2010), lo que permite a las personas ser participantes activos de

espacios abstractos. Esto requiere hardware y software que proporcionen un sentido de: (1) inclusión (inmersión), (2) navegación y (3) manipulación (Helsel, 1992).

La naturaleza multi-sensorial de la realidad virtual facilita que la información pueda dirigirse a más de un sentido, haciendo la experiencia más atractiva debido a que aumenta la sensación de presencia y reduce el potencial de ambigüedad (Christou, 2010).

2.1.2. Realidad virtual aplicada al entrenamiento.

Los residentes entrenados con realidad virtual realizan una cirugía sustancialmente más rápido, mientras que los residentes con entrenamiento convencional son más lentos, tienen muchas más probabilidades de causar lesiones, dañar el tejido o no progresar en la cirugía, como lo demuestra un estudio prospectivo, aleatorizado y ciego sobre el simulador laparoscópico MIST-VR (Seymour et al., 2002) (Vaughan et al., 2016).

Una de las razones por las que se crea mayor habilidad es debido a que los simuladores de entrenamiento de RV ayudan a fomentar las habilidades operativas y de toma de decisiones (Li et al., 2017), desarrollar la conciencia viso-espacial de la anatomía y la "sensación" del entorno al permitir la práctica antes de los procedimientos reales (Vaughan et al., 2016), proporcionando un entorno controlado y libre de riesgos durante el manejo de instrumentos (Li et al., 2017).

2.1.3. Simuladores virtuales.

El objetivo de la simulación es mejorar la formación, proporcionando un entorno controlado y libre de riesgos en donde los participantes puedan desarrollar sus habilidades operativas y de toma de decisiones sin ningún daño potencial para los pacientes. La idea es que alcancen un cierto nivel de habilidad antes de avanzar a escenarios de quirófano de la "vida real",

evitando así la necesidad de cadáveres o animales, que son actualmente el método de entrenamiento más realista (Vaughan et al., 2016).

La capacidad de estos simuladores para evaluar el nivel de habilidad o analizar el desempeño ha sido demostrada por diferentes casos de estudio (Slade et al., 2012), lo que indica que estos simuladores pueden proporcionar una puntuación objetiva e imparcial (Vaughan et al., 2016).

2.1.4. Interfaz de usuario.

La interfaz de usuario se define según el American Heritage Dictionary como "la interacción entre dos sistemas", siendo más específicos la interacción entre personas (usuarios) y máquinas (dispositivo, programa u herramienta compleja) esto mediante interfaces gráficas o interfaces controladas por voz.

Esta interacción implica tanto entradas que permiten a los usuarios controlar el sistema como salidas que proveen una retroalimentación del trabajo del sistema a los usuarios (Blair-Early & Zender, 2008), el objetivo la creación de interfaces es lograr que los usuarios las encuentren fáciles de usar y agradables, existen diferentes tipos de interfaces:

- Interfaces gráficas de usuario (GUI): los usuarios interactúan con representaciones visuales en paneles de control digitales (computadores, celulares).
- Interfaces controladas por voz (VUI): los usuarios interactúan con ellas a través de sus voces (asistentes inteligentes, como Siri en iPhone y Alexa en dispositivos Amazon).
- Interfaces basadas en gestos: los usuarios interactúan con espacios de diseño 3D a través de movimientos corporales (juegos de Realidad Virtual).

2.1.5. Entrenamiento en medicina.

El entrenamiento basado en la simulación consiste en sustituir la realidad por un escenario simulado en el que estudiantes de medicina y profesionales pueden entrenar para adquirir habilidades de comunicación, psicomotrices o de trabajo en equipo. Dichos escenarios, y las metodologías que se aplican en ellos, varían según las habilidades a entrenar. Este tipo de entrenamiento va siempre asociado a una sesión de retroalimentación en el que participantes y tutores analizan la actividad realizada, sus puntos fuertes y los aspectos a mejorar. Esta sesión se debe acompañar de una fase de pensamiento reflexivo y crítico, para profundizar en las ciencias básicas y clínicas del proceso entrenado. El empleo secuencial de diversos tipos de simulaciones puede utilizarse como circuito de entrenamiento o como prueba tipo examen clínico objetivo estructurado. En ambos casos, la evaluación es la última fase de simulación aplicada a medicina (Vázquez-Mata & Guillamet-Lloveras, 2009).

Actualmente existen una serie de circunstancias que aconsejan que el entrenamiento en simulación antecede a las actividades con pacientes reales (Vázquez et al., 2008). Al poder replicar diversos escenarios clínicos mediante la simulación se puede evaluar la adquisición de múltiples competencias tanto técnicas como no técnicas.

2.1.6. Medicina Crítica.

La medicina crítica como disciplina se refiere a la ciencia del monitoreo y manejo del paciente crítico. Es una especialidad de apoyo a otras especialidades, clínicas o quirúrgicas. Se encarga del estudio de pacientes en estado crítico, o en riesgo de desarrollarlo, esto a través de la asistencia clínica mediante una serie de procesos que deben realizarse en áreas autónomas del hospital, generalmente denominadas Unidades de Cuidado Intensivo (UCI) (Ochoa Parra, 2017).

La necesidad de crear un área exclusiva para el manejo posoperatorio se dio en 1920 y la terapia intensiva emerge en 1940 con la creación de dispositivos y procesos específicos de soporte fisiológico (Ochoa Parra, 2017). Actualmente los cuidados críticos se tratan considerando la complejidad de los pacientes y los procedimientos desarrollados, así como los exámenes complementarios y el equipo multidisciplinario de asistencia.

2.1.7.Terapia ECMO.

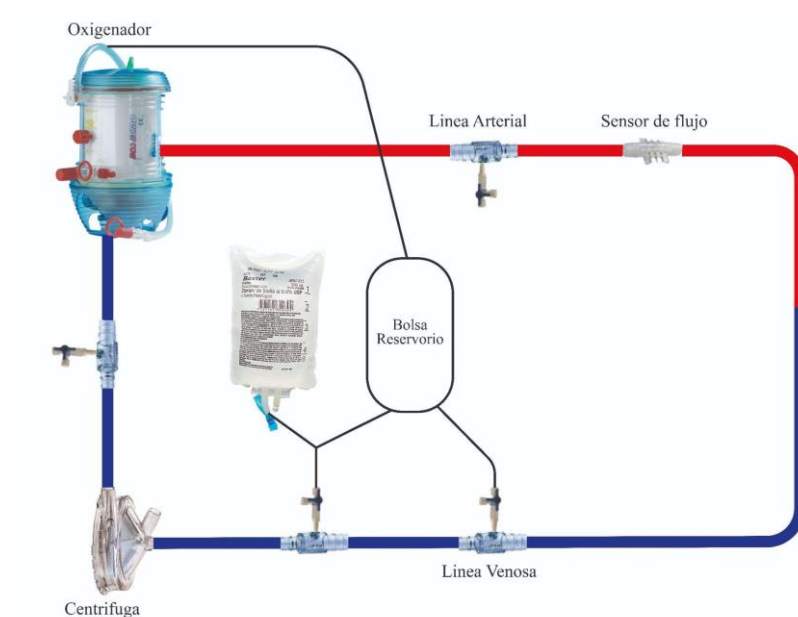
A diferencia de los sistemas de perfusión o bypass cardiopulmonar que están diseñados para sustituir de forma completa y breve la función del corazón y pulmón en el quirófano y así facilitar la cirugía. La ECMO mantiene la asistencia necesaria para garantizar las funciones vitales durante un periodo de tiempo mayor. Es una asistencia mecánica circulatoria y respiratoria, capaz de proporcionar soporte cardiaco y pulmonar, durante un periodo de días o semanas; en la insuficiencia cardiaca o respiratoria refractario a tratamiento convencional.

Es un soporte vital extracorpóreo con oxigenador incorporado. Como norma general se asume que los sistemas de soporte vital ECLS (por sus siglas en inglés Extracorporeal Life Support) son sistemas de reanimación que permite asistir a los pacientes sacándolos de la situación más crítica y aportando un tiempo de actuación, bien para que la patología de base se recupere o bien para la toma de decisiones. La asistencia ECMO cubrirá las necesidades tisulares de aporte de oxígeno y de eliminación de dióxido de carbono cuando la lesión cardiaca o pulmonar pueda ser recuperable en un corto periodo de tiempo. También permitirá reducir la intensidad del tratamiento convencional de la insuficiencia cardiaca o respiratoria y sus efectos adversos sobre la recuperación cardiopulmonar (Díaz, Fajardo & Rufs, 2017).

El circuito utilizado en la terapia ECMO se puede visualizar a continuación en la figura 10. Este se compone de los siguientes elementos ensamblados en serie: cánula de drenaje venoso, línea venosa, bomba centrífuga, oxigenador, línea arterial y una segunda cánula de retorno arterial o venosa. Las diferentes compañías del sector biomédico proporcionan estos componentes revestidos de heparina o del componente molecular de la membrana celular (fosforilcolina). Estos aditivos reducen los requerimientos de anticoagulación, las complicaciones hemorrágicas y la reacción inflamatoria (Torregrosa et al., 2009).

Figura 10

Esquema de Circuito ECMO usado por la Fundación Cardiovascular de Colombia.



Nota. El armado del circuito de ECMO cambia de acuerdo a la institución donde se lleve a cabo la terapia. Este gráfico muestra los elementos y estructura del circuito que maneja la Fundación Cardiovascular FCV, el cual fue usado como referencia para el desarrollo de la simulación.

2.1.8. Antecedentes de la situación de estudio.

En Medicina existen soluciones de realidad aumentada enfocadas a varias áreas para la visualización, dentro de las que sobresalen las de análisis de imágenes biomédicas, simulación de sistemas fisiológicos, entrenamiento en anatomía, y visualización de procedimientos quirúrgicos. Las diferentes especialidades médicas han encontrado en la Realidad Virtual una herramienta útil para su aplicación y uso (Rangel, 2011). Para el objetivo de este proyecto se realizó una revisión de lo ya existente y se analizaron los antecedentes de la situación actual de estudio (Gisbert & Bonfill, 2004), para lo cual se realizó un diagrama de L invertida y se escribieron allí las palabras clave del proyecto; con ellas se construyeron las ecuaciones de búsqueda para esta etapa.

Tabla 4

Diagrama de L invertido.

		AND			
OR	Realidad Virtual	ECMO	Metodología	Entrenamiento	
	Interfaz de usuario Simulación	Oxigenación por membrana extracorpórea Cuidados críticos Insuficiencia cardio-respiratoria	Proceso Planteamiento	médico Habilidades Aprendizaje	

Nota. La tabla se construyó a partir de las palabras claves y la información obtenida en el marco teórico.

Ecuaciones en Pseudocódigo, Operadores “AND” y “OR”:

- *(Simulación OR Interfaz) AND (Cuidados críticos) AND Habilidades AND Entrenamiento médico.*
- *(Realidad virtual OR Interfaz) AND (ECMO) AND (Habilidades).*
- *(Aprendizaje OR Entrenamiento) AND (Cuidados críticos) AND (ECMO).*

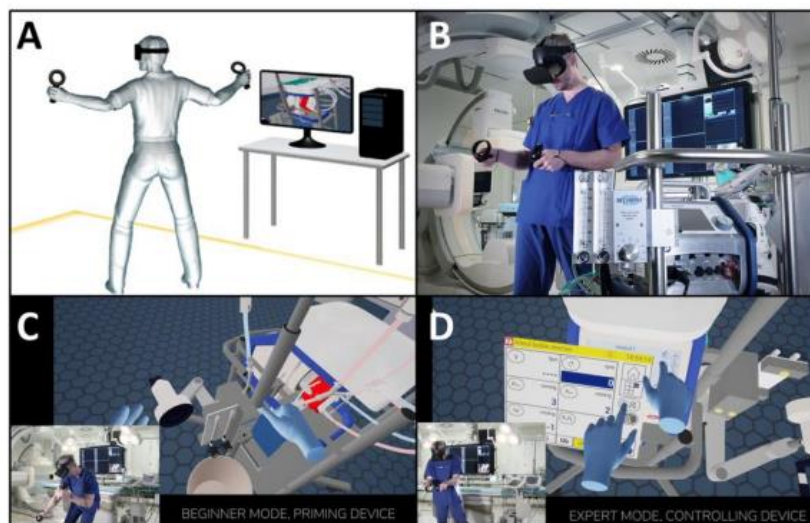
- *(Aprendizaje OR Requerimiento) AND (Cuidados críticos) AND (Habilidades)*
- *(Entrenamiento) AND (Insuficiencia cardio-respiratoria) AND (entrenamiento médico)*
- *(Condición OR Aprendizaje) AND (ECMO) AND (Cuidados críticos)*
- *(Virtual Reality) AND (Extracorporeal membrane oxygenation) AND (Process) AND (Medical Training)*
- *(User interface) AND (Extracorporeal membrane oxygenation) AND (Methodology) AND (Medical Training) AND (Simulation)*
- *(Virtual Reality) AND (Simulation) AND (Extracorporeal membrane oxygenation) AND (Methodology) AND (Medical Training)*
- *(Virtual Reality) AND (cognitive task analysis) AND (simulator-based training)*

Como resultado se encontraron investigaciones realizadas en el marco de pregrado universitario, artículos y revistas científicas internacionales. A continuación, se presentan los hallazgos más relevantes. [Ver Anexo G](#)

2.1.8.1. Virtual reality device training for extracorporeal membrane oxygenation. En este estudio se desarrolló un prototipo para el entrenamiento de VR en un dispositivo Getinge Cardiohelp® ECMO usando un auricular VR con controladores. En este entorno contaban con un entrenador digital, quien fue un guía para el participante dentro del programa de enseñanza digital didáctico en donde debían seguir las instrucciones mostradas en un video del paso a paso de la configuración de la consola y el armado del circuito, para luego imitar manualmente cada paso, lo anterior sin ningún tipo de apoyo. Este proyecto se encuentra en una etapa de evaluación del procedimiento, por lo que aún no han obtenido resultados concretos de la aplicación de este prototipo (Georg et al., 2020).

Figura 11

Dispositivos y entorno usado en el estudio.



Nota. Configuración de realidad virtual y entorno de entrenamiento ECMO (a) toma del mundo real (b) configuración de realidad virtual (c) control (d) dispositivo ECMO (Georg et al., 2020).

2.1.8.2. Impact of Simulation-Based Extracorporeal Membrane Oxygenation Training in the Simulation Laboratory and Clinical Environment. El objetivo de este estudio fue evaluar si el uso de simulaciones mejoraba las habilidades técnicas y no técnicas en el manejo de emergencias ECMO y si estas simulaciones permitían la transferencia de habilidades desde el entorno simulado al entorno clínico. Participaron 19 sujetos, entre enfermeras registradas y terapeutas respiratorios, los cuales realizaron 96 simulaciones a través de un simulador infantil, un circuito ECMO funcional, y sesiones informativas asistidas por video. Estas simulaciones se dividieron en cuatro escenarios con tres o cuatro sujetos rotando en distintos roles.

De los diferentes resultados obtenidos, los más destacados fueron los relacionados a la identificación de amenazas latentes a la seguridad (LST, por sus siglas en inglés), los cuales se clasificaron como déficit de conocimiento o amenazas relacionadas con el entorno. Estos permitieron evaluar el nivel de equipo y se subclasifican como déficits cognitivos, omisión de acciones necesarias, acciones inapropiadas o procedimientos realizados incorrectamente.

Finalmente, el estudio concluyó que la capacitación basada en simulación es un método eficaz para mejorar el conocimiento, las actitudes y el trabajo en equipo de seguridad en torno a las emergencias ECMO (Burton et al., 2011).

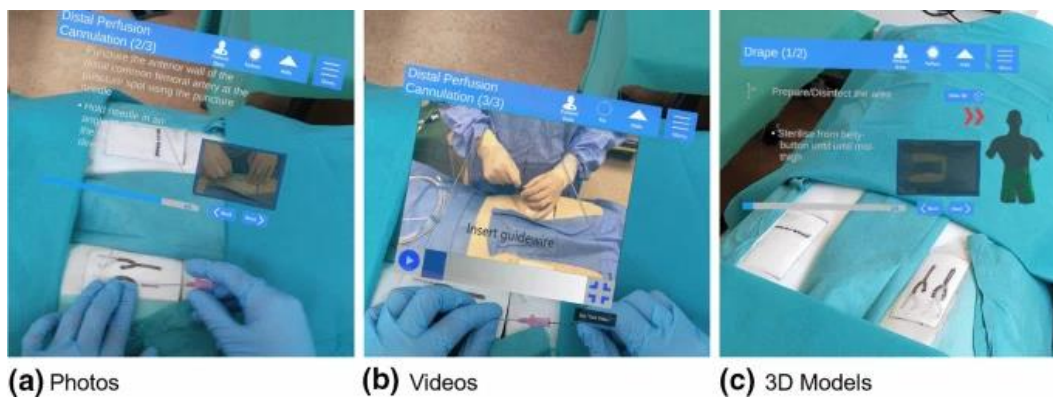
2.1.8.3. A Review on Virtual Reality Skill Training Applications. Este estudio tuvo como objetivo discutir los esfuerzos de diferentes investigaciones en el desarrollo de la tecnología de realidad virtual para distintas aplicaciones de capacitación. Durante el estudio se describen las experiencias de capacitación en realidad virtual, así como los desafíos y las soluciones al aplicarlas a diferentes dominios. También trataron los métodos y pruebas para evaluar la efectividad del entrenamiento de realidad virtual y finalmente ponen en conocimiento las posibles direcciones futuras que permitirán aprovechar los avances de esta tecnología.

En el estudio se resalta la integración del proceso de creación del sistema de capacitación en seguridad de realidad virtual con un método de diseño basado en escenarios para crear experiencia. Este método nace a partir de los aportes de diferentes investigaciones las cuales han explorado la generación automática de escenarios y la creación de una arquitectura de sistemas de entrenamiento basados en realidad virtual, dando introducción a la planificación de tareas de entrenamiento virtual y a algunos modelos de escenarios de entrenamiento orientados a tareas (Xie et al., 2021). En general los autores plantean que el proceso para la creación de capacitación en realidad virtual se divide en tres etapas: 1) análisis de tareas, 2) esbozo de escenarios de capacitación, 3) implementación.

2.1.8.4. Comparing the effectiveness of augmented reality-based and conventional instructions during single ECMO cannulation training. Este estudio tuvo como objetivo investigar los beneficios de las instrucciones basadas en realidad aumentada para el entrenamiento de canulación ECMO en comparación con las instrucciones utilizadas durante el entrenamiento convencional. Para ello desarrollaron una guía del paso a paso del procedimiento para Realidad Virtual, combinando texto, imágenes y videos del programa de capacitación convencional con modelos 3D simples. En el estudio participaron 21 estudiantes, divididos en dos grupos, un grupo usaba las instrucciones convencionales para el primer procedimiento y las instrucciones de realidad aumentada para el segundo; el otro grupo usaba las instrucciones en orden inverso.

Figura 12

Representación de información proporcionada a los usuarios en el estudio.



Nota. Tres tipos de representación de información que complementan las instrucciones paso a paso basadas en texto en realidad aumentada (Wolf et al., 2021).

Los resultados del estudio no demostraron que la experiencia previa en canulación tuviera un efecto significativo en el desempeño de los participantes, sin embargo, hubo una diferencia significativa en los tiempos de entrenamiento en el procedimiento 2 para los participantes con

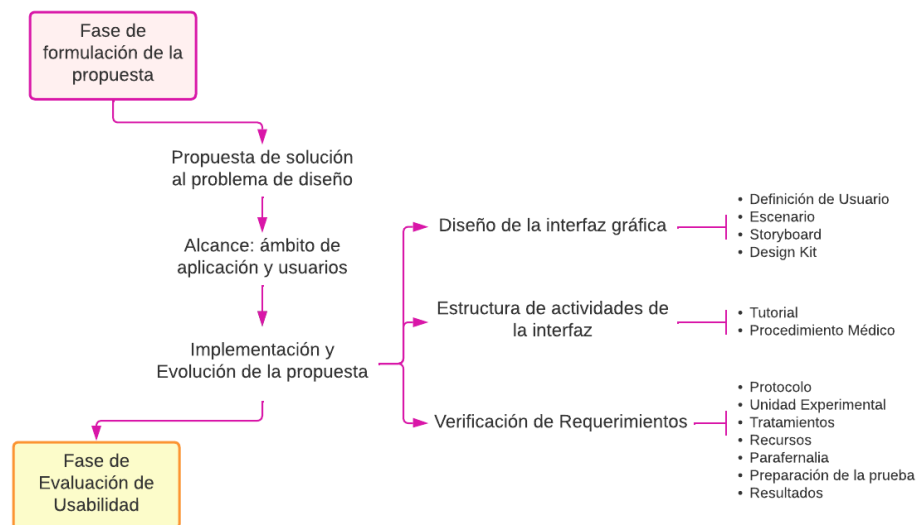
experiencia previa en realidad aumentada, por lo que los autores apuntan a que la influencia de experiencias previas es insignificante. En cuanto a los errores, la diferencia de errores fue asociada a errores de conocimiento, es decir, información que se perdió durante la ejecución. Esto concuerda con el planteamiento de los autores sobre los beneficios de tener acceso a información contextual en las proximidades. Finalmente, las calificaciones obtenidas en el cuestionario estandarizado de experiencia de usuario reflejan que las instrucciones con realidad aumentada resultaron significativamente mejores en 5 de las 6 escalas utilizadas en el estudio, indicando mayor claridad percibida de información, velocidad de adquisición de información y estimulación por los participantes.

Para los autores estos resultados evidencian el alto potencial para mejorar los resultados del entrenamiento con el uso de Realidad Aumentada para tener una mejor adquisición de información por parte de los participantes durante la ejecución de la tarea.

3. Fase de formulación de la propuesta

Figura 13

Estructura del desarrollo de la fase de formulación de la propuesta.



Nota. El mapa muestra el flujo de información planteado para el desarrollo de la fase.

3.1.Propuesta de solución al problema de diseño

Como se menciona en el planteamiento del problema, el entrenamiento presencial para terapia ECMO ofrecido en la Fundación Cardiovascular de Colombia presenta limitaciones que son un factor común en los entrenamientos médicos actuales, por ejemplo, la baja posibilidad de repetir el procedimiento, el costo de los materiales y el tiempo que requiere preparar cada una de las simulaciones, además la necesidad de contar con un experto que vigile y guíe paso a paso las acciones del participante.

A partir de esto, se propuso el desarrollo de una interfaz de simulación de Realidad Virtual que funcione como una herramienta complementaria a los entrenamientos que ofrece la Fundación Cardiovascular FCV en el “Curso de Especialista en ECMO”, específicamente se centrará en la quinta fase del programa: MANEJO DEL PACIENTE EN ECMO VENO-ARTERIAL, proceso que inicia en la canulación del paciente y finaliza con la conexión a ECMO. Esta interfaz fue nombrada “ALI” y su objetivo es complementar el proceso de entrenamiento en esta compleja terapia, respondiendo a un alto grado de usabilidad en términos de eficiencia, eficacia y satisfacción, además de cumplir con los objetivos de aprendizaje planteados.

3.2.Alcance: ámbito de aplicación y usuarios

La interfaz está dirigida a personal médico especializado en cuidado intensivo que necesite apoyo teórico o práctico en el curso de entrenamiento en terapia ECMO; también se contempla la posibilidad de ser usada por el personal médico con experiencia.

Es posible utilizarse desde cualquier lugar del mundo que cuente con electricidad, un headset de realidad virtual Oculus Rift S, un computador con RAM mínimo de 8,00 GB y

Procesador Intel (R) Core(™) i5 - 6200U, así mismo es necesario contar con un espacio vacío de mínimo 2m² para moverse libremente sin causar ningún daño.

4. Implementación y Evolución de la propuesta

Los motores de video-juego se han convertido en una de las herramientas más útiles para la implementación y exploración de nuevas tecnologías, como lo es Unity 3D (Vázquez et al., 2008), motor de videojuego creado por Unity Technologies y plataforma principal en la que se desarrolla la interfaz de Realidad Virtual de este proyecto. Por otro lado, se utilizan diferentes softwares de modelado 3D como apoyo a la creación del entorno virtual, entre ellos 3Ds Max, SolidWorks y Blender, así como editores de fotografía y de gráficos vectoriales tales como Adobe Photoshop y Adobe Illustrator.

En la etapa de implementación se desarrollaron cuatro fases vitales para el proyecto, diseño de la interfaz gráfica, estructura de actividades de la interfaz, la verificación de requerimientos y los resultados.

4.1. Diseño de la Interfaz Gráfica

4.1.1. Definición de usuario

En esta etapa se buscó empatizar con el usuario, conocer sus deseos, características, motivaciones y frustraciones, con el objetivo de enfocar el proyecto hacia un lado más humano y a la solución de necesidades reales. Para esto se realizó una encuesta corta a 10 médicos que se encuentran interesados en participar del Curso para Especialistas en ECMO ofrecido por la Fundación Cardiovascular. [Ver Anexo H](#)

Lo anterior resulta en el siguiente prototipo Persona:

Figura 14

Prototipo Persona del proyecto.

Personalidad

- Trabajador
- Sereno
- Organizado
- Familiar
- Amable
- Puntual

BIO

Álvaro Rodríguez nació en la ciudad de Bucaramanga, Colombia, vive con su esposa y sus dos hijos. Fue a la Universidad Industrial de Santander en donde se tituló como Médico profesional, actualmente trabaja ejerciendo su carrera en la Fundación Cardiovascular, en donde es uno de los instructores que imparte el curso que brinda la FCV para el manejo de la terapia ECMO ya que se ha especializado en el campo. Álvaro es un hombre paciente.

Durante la pandemia de COVID-19 se ha dado cuenta del incremento en el interés de aprender sobre la terapia ECMO, ya que ha sido uno de los médicos que ha ayudado y sacado adelante a muchos pacientes, sin embargo, algo que le preocupa es que el curso actual se ve limitado para las personas que viven en otras partes del país y que debido a las restricciones no pueden desplazarse, es por ello que busca herramientas que le permita llevar ese conocimiento a las personas.

Motivaciones

Aprender cosas nuevas: Ayudar a los demás:

Compartir con su familia: Conocer tecnologías que aporten a su formación:

Metas

- Entender las nuevas tecnologías y saber usarlas
- Que sus pacientes puedan recuperarse con el tratamiento dado
- Que más personas puedan recibir el curso ofrecido por la FCV
- Aprender de los participantes mientras imparte el curso para la terapia ECMO
- Organizar salidas familiares para fechas especiales .

Frustraciones

- No tener tiempo para pasar con su familia
- No estar al día con las actualizaciones de tratamientos y terapias.
- Realizar las simulaciones físicas pueden gastar mucho tiempo.
- Que personas con el deseo de aprender no puedan realizar el curso a cabalidad.
- No estar al día con las actualizaciones de tratamientos y terapias.

Comportamiento

Estar con sus sobrinos e hijos:

Charla con sus pacientes para conocerlos mejor y generar empatía:

Participación en congresos de medicina y proyectos de investigación:

Uso de aparatos tecnológicos:

Influencias

- Noticias en la TV
- Noticias en la radio
- Periódicos
- Pacientes
- Familia
- Compañeros de trabajo

Apps usadas frecuentemente

Google Instagram Whatsapp

Álvaro Rodríguez
45 años - Bucaramanga, Santander
Médico Cardiólogo
Estado: Casado Arquetipo: Adulto

“El buen médico trata la enfermedad, el gran medico trata al paciente que tiene la enfermedad.”

4.1.2.Escenario

De los diferentes niveles y escenarios planteados se elige trabajar con el Escenario 2.1 del Nivel 2 debido a que, si bien se busca trabajar con una simulación desafiante para el participante en cuánto a la toma de decisiones, también es necesario que sea un escenario “ideal” que le permita familiarizarse con el procedimiento médico.

Tabla 5

Fragmento de la estructura del Escenario 2.1, Nivel 2.

Nivel 2	Escenario 2.1 Ecógrafo no disponible para punción
Descripción Escenario	Punción del paciente sin visualización guiada El practicante realiza el proceso usando la palpación en el paciente.
Componentes Principales	Paciente Aguja para realizar la punción

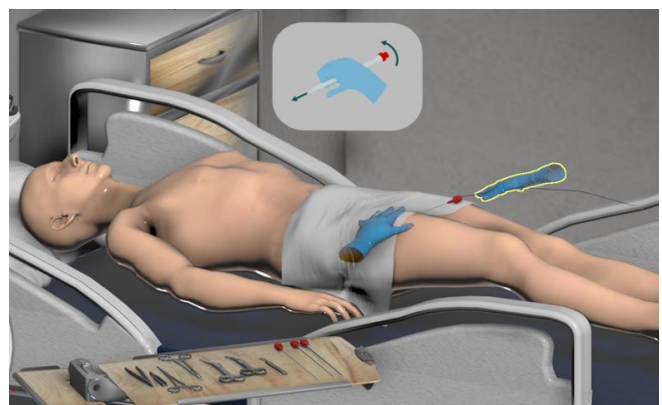
Componentes Secundarios	Ambientación Sala de emergencias Camilla			
Contexto	Toma de decisiones	Información de apoyo	Retroalimentación directa	Retroalimentación cognitiva ¿Es visual, auditiva o táctil?
Inicia la simulación y Álvaro se encuentra en una sala de emergencias recibiendo a un paciente de nombre XXX, edad XXX que debe ser conectado rápidamente a un equipo ECMO.	<p>Pasos en los que el participante debe tomar una decisión acerca del procedimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Elegir el tipo de soporte • Elegir el montaje de procedimiento • Elegir zona para punzar • Elegir herramienta control acceso • Definir de revoluciones de la consola 	<p>Pantallas que brindan información extra acerca del procedimiento.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Información en forma de texto • Videos de apoyo • Riesgos del procedimiento • Imágenes de referencia • Guías visuales como líneas punteadas y otros gráficos. 	<p>Pantallas de error que indican respuesta errónea y dan una corta pista antes de intentar de nuevo.</p>	<p>Error: Hay un sonido de error. Se activa una luz color rojo.</p> <p>Correcto: Hay un sonido de aprobación. Se activa una luz color verde. Hay vibración de controles cuando se hace la acción correcta.</p>

4.1.3. Storyboard

Para lograr una mejor comunicación con los médicos de la FCV, se realizó un Storyboard que representa las interacciones en un entorno de realidad virtual, teniendo en cuenta que muchos de los médicos nunca habían usado esta tecnología. Fue de gran ayuda visualizar el escenario, los instrumentos y las actividades que se realizaron durante el procedimiento.

Figura 15

Storyboard del procedimiento.



4.1.4.Design Kit

Design Kit es una herramienta que permite compilar todos los aspectos del diseño de la interfaz, incluyendo colores, tipografía, iconos, botones y componentes utilizados en la simulación, esto con el fin de hacer más sencilla y organizada la transferencia de datos del diseño. [Ver Anexo I](#)

Debido a que la interfaz ALI contaba con dos escenarios: el primero que constaba de un tutorial donde los participantes aprendían las interacciones que iban a realizar durante el segundo escenario, el procedimiento de canulación del paciente y conexión a la consola ECMO; se buscó que los participantes, durante este primer escenario, tuviesen una interacción fuera del entorno médico, con el objetivo de motivarlos y que iniciaran el procedimiento con un aire más fresco. Es por ello que se propuso un diseño visual relacionado a los videojuegos, una tipografía como Audiowide, con un estilo de letra tecno-futurista y limpiamente legible; así mismo, se eligieron el naranja y azul, que además de ser complementarios transmiten equilibrio, energía, seguridad y confianza, características que “ALI” pretendía mostrar.

Figura 16

Design Kit del diseño de la interfaz.

Design Kit - 1

Logo



Colores



Tipografía

Titulo 1 **AUDIOWIDE REGULAR**
 Titulo 2 **AUDIOWIDE REGULAR**
 Titulo 3 **Hind Siliguri SemiBold**
 Texto Hind Siliguri Regular

Botones

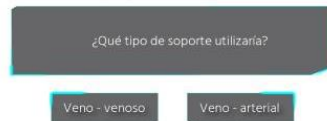


Iconos

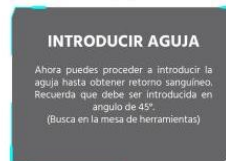


Componentes

Pantallas de pregunta



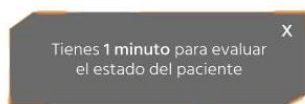
Pantallas de apoyo



Historia Clínica (Fragmento)



Pantallas de advertencia



Pantallas de Riesgos



4.2. Estructura de actividades de la interfaz

4.2.1. Tutorial

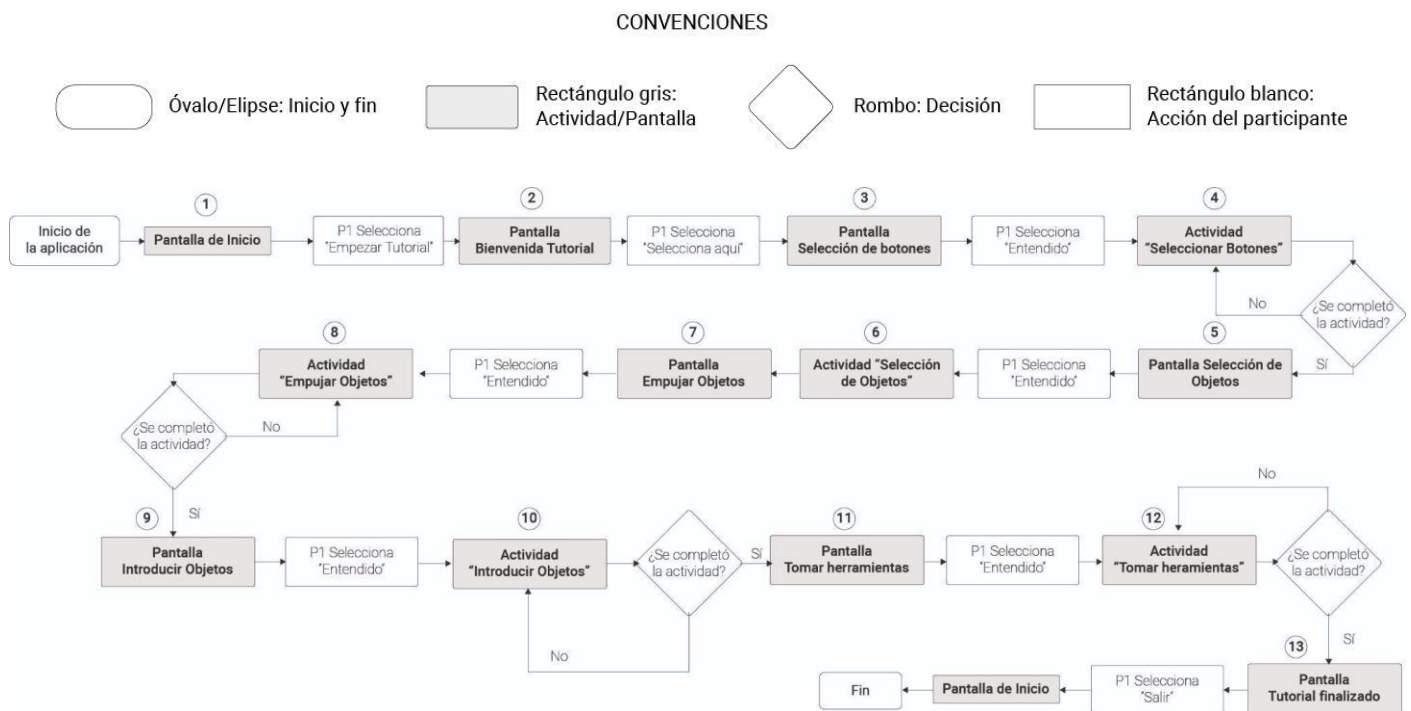
En primer lugar, fue necesario idear y construir un tutorial sencillo que permitiera a los usuarios familiarizarse con los entornos de realidad virtual en caso de ser su primera experiencia, facilitando así el proceso de reconocimiento de los controles, del funcionamiento de cada botón y de las interacciones básicas con los objetos.

El tutorial de este proyecto tiene como objetivo que el usuario domine cuatro actividades básicas: seleccionar botones u opciones en las pantallas, empujar objetos, introducir objetos y tomar herramientas. Para ello se utilizaron diferentes pantallas que guiaron al usuario a través de todo el tutorial; cada pantalla cuenta con una voz automática que lee las instrucciones a medida que el participante avanza.

Toda la información anterior se refleja en el diagrama de flujo del tutorial en la Figura 17, donde se observan los comportamientos que tiene la aplicación según las acciones y el avance del usuario. En la Tabla de Descripción de Pantallas, se encuentra la información clasificada por actividad y los componentes usados para cada una. Estos componentes fueron definidos teniendo en cuenta las tareas planteadas y se propusieron figuras intuitivas que fueran similares al gesto del procedimiento real.

Figura 17

Diagrama de Flujo del Tutorial. [Ver Anexo J](#)



Nota. El diagrama muestra el flujo de las actividades que se llevaron a cabo durante el tutorial de simulación.

Tabla 6

Descripción de las pantallas y actividades del Tutorial. .

Pantalla/Actividad	Descripción	Componentes
1. Pantalla de Inicio	Es la pantalla inicial de la interfaz, se explica que para seleccionar cualquiera de las opciones debe oprimir el botón “A”.	Logos institucionales Texto de Bienvenida Botón de Iniciar Tutorial Botón Iniciar Procedimiento
2. Pantalla de Bienvenida Tutorial	Pantalla de Bienvenida que explica el objetivo del tutorial y presenta la primera actividad	Texto de Bienvenida
3. Pantalla Selección de botones	Pantalla que explica cómo seleccionar los botones	Texto Selección de botones Imagen explicativa
4. Actividad “Seleccionar botones”	El participante debe seleccionar el Botón 1, este se mueve hacia la izquierda y se debe seleccionar de nuevo, se mueve a la derecha y debe seleccionar de nuevo. Finaliza seleccionando el botón 3.	Botón Selecciona aquí 1 Botón Selecciona aquí 2 Botón Selecciona aquí 3
5. Pantalla Seleccionar objetos	Pantalla que explica cómo realizar la actividad de seleccionar objetos	Texto Selección de objetos Botón Entendido
6. Actividad Seleccionar objetos	Actividad en la que el participante debe atravesar 3 cubos con la mano consecutivamente	3 Cubos flotantes
7. Pantalla de Empujar objetos	Pantalla en la que se explica la actividad de Empujar objetos	Texto explicativo de la actividad “Empujar” Imágenes de los controles Botón Entendido
8. Actividad “Empujar objetos”	Actividad en la que el participante debe empujar todos los objetos por orificio que está en el centro de la mesa	Mesa con orificio en el centro 4 Objetos con propiedades físicas
9. Pantalla Introducir objetos	Pantalla que explica cómo realizar la actividad Introducir objetos	Texto explicativo de la actividad “Introducir Objetos” Imágenes de los controles Botón Entendido
10. Actividad “Introducir objetos”	Actividad en la que el participante debe tomar los cilindros amarillos e introducirlos en los orificios hasta que este muestre un color verde. Finaliza al	Caja flotante con 3 orificios 3 Cilindros

	mostrar los 3 orificios en color verde.	
11. Pantalla Tomar herramientas	Pantalla en la que se explica cómo realizar la actividad Tomar herramientas	Texto explicativo de la actividad “Tomar herramientas” Imágenes de los controles Botón Entendido
12. Actividad “Tomar herramientas”	Actividad en la que el participante debe tomar los lápices de colores de la mesa y ubicarlos en la taza que está en el centro.	Mesa Taza mediana Lápices de colores
13. Pantalla Tutorial finalizado	Pantalla que da por finalizado el tutorial.	Texto de felicitaciones Botón de Repetir tutorial Botón de Iniciar Procedimiento Botón Salir.

4.2.2. Procedimiento médico

Por otro lado, en la construcción de la interfaz para el procedimiento médico, se divide este en 22 actividades debido a su complejidad, y se agrega un total de 42 pantallas con instrucciones detalladas para guiar al participante durante el proceso. Como se explicó anteriormente, estas actividades se reflejan en el diagrama de flujo del tutorial, donde se observan los comportamientos que tiene la aplicación según las acciones y el avance del usuario, así como también en la tabla de descripción de pantalla, en donde se encuentra la descripción de la actividad y los componentes usados para el desarrollo de la misma. Estos componentes fueron definidos en base en la información obtenida en el análisis cognitivo de tareas donde se hizo un reconocimiento de los instrumentos requeridos para el desarrollo adecuado del proceso y de la construcción de niveles y escenarios, en donde se planteó el flujo y la retroalimentación de la interfaz según el desempeño del usuario.

Figura 18

Diagrama de Flujo del Procedimiento. [Ver Anexo K](#)

CONVENCIONES



Óvalo/Elipse: Inicio y fin



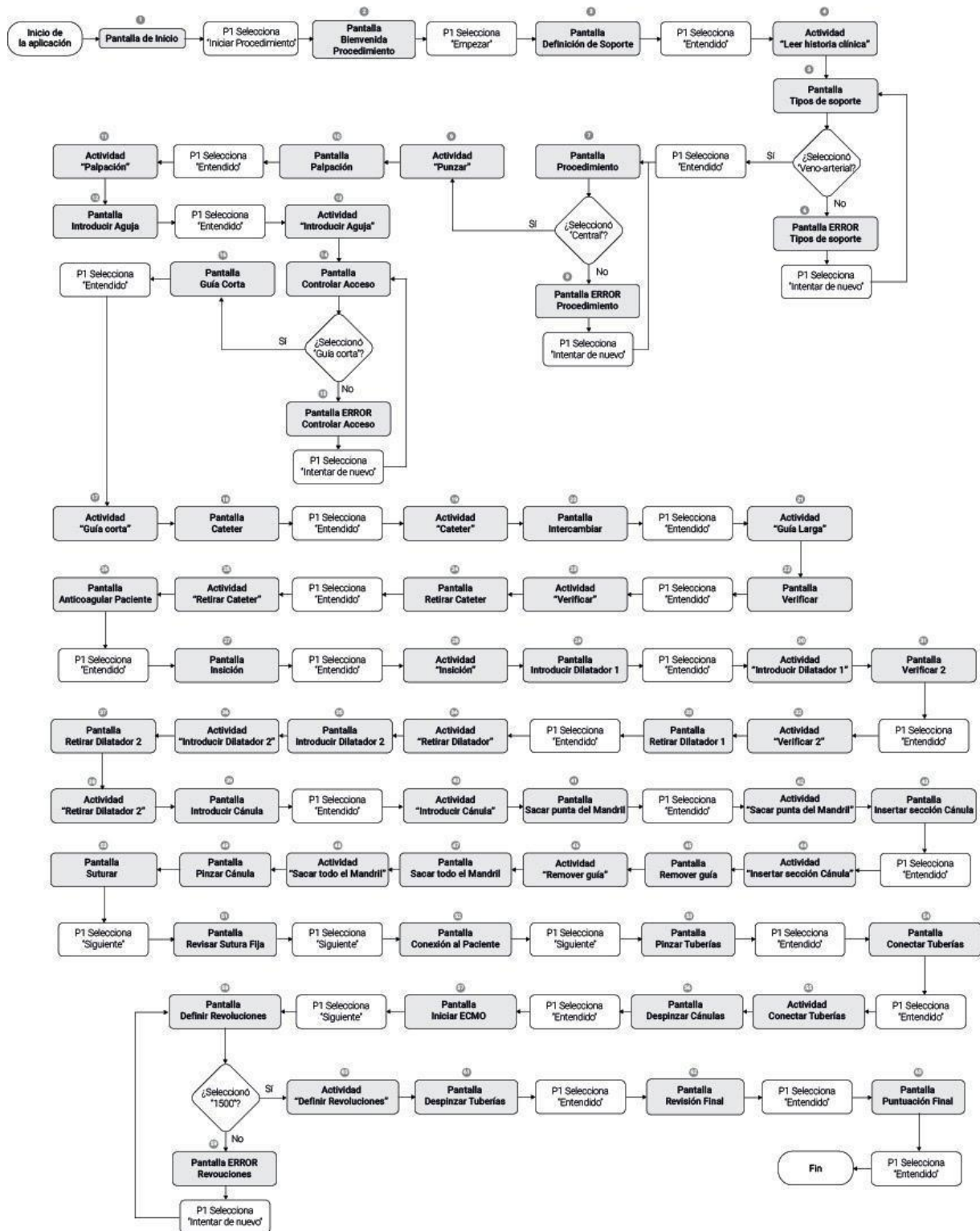
Rectángulo gris:
Actividad/Pantalla



Rombo: Decisión



Rectángulo blanco:
Acción del participante



Nota. El diagrama muestra el flujo de las actividades que se llevaron a cabo durante el procedimiento de Canulación consensuado con los médicos expertos.

Tabla 7

Descripción de las pantallas y actividades del Procedimiento. .

Pantalla/Actividad	Descripción	Componentes
1. Pantalla de Inicio	Es la pantalla inicial de la interfaz, se explica que para seleccionar cualquiera de las opciones debe oprimir el botón “A”.	Logos institucionales Texto de Bienvenida Botón de Iniciar Tutorial Botón Iniciar Procedimiento
2. Pantalla de Bienvenida Procedimiento	Pantalla de Bienvenida que explica el objetivo del procedimiento	Texto de Bienvenida
3. Pantalla Definición de Soporte	Pantalla que explica la primera actividad y cuál icono seleccionar a continuación.	Texto explicativo Botón Entendido
4. Actividad “Leer historia clínica”	Actividad en que el participante debe buscar y seleccionar el icono para leer la historia clínica del paciente.	Icono de Historia clínica Historia Clínica
5. Pantalla Tipos de soporte	Pantalla que pregunta ¿Cuál es el mejor tipo de soporte a utilizar en este paciente?	Texto de pregunta Botón Venó-arterial Botón Venó-venoso
6. Pantalla Error Tipos de soporte	Pantalla que indica respuesta errónea y da una corta pista.	Texto de error Botón de Intentar de nuevo
7. Pantalla Procedimiento	Pantalla que pregunta ¿De qué manera va a realizar el montaje del procedimiento?	Texto de pregunta Botón de Centra Botón de Periférico
8. Pantalla Error Procedimiento	Pantalla que indica respuesta errónea y da una corta pista.	Texto de error Botón de Intentar de nuevo
9. Actividad “Punzar”	Actividad en la que el participante debe elegir cuál es la mejor zona para Punzar.	Texto de pregunta Imagen de apoyo
10. Pantalla Palpación	Pantalla en la que se explica cómo realizar la palpación.	Texto explicativo Botón de Entendido Imagen de apoyo
11. Actividad “Palpación”	Actividad en la que el participante debe tocar al paciente hasta sentir la vibración más fuerte, que indica el éxito de la palpación.	Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
12. Pantalla Introducir Aguja	Pantalla en la que se explica cómo introducir la aguja apropiadamente.	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Video de apoyo

13. Actividad “Introducir Aguja”	Actividad en la que el participante debe tomar la Aguja e introducirla a 45° aproximadamente.	Aguja Guía puntada para ubicar la aguja a 45° Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
14. Pantalla Controlar Acceso	Pantalla en la que se pregunta ¿Cuál es la mejor herramienta para la siguiente actividad?	Texto de pregunta Botón Catéter Botón Guía Corta Botón Guía Larga
15. Pantalla Error Controlar Acceso	Pantalla que indica respuesta errónea y da una corta pista.	Texto de error Botón de Intentar de nuevo
16. Pantalla Guía Corta	Pantalla que explica cómo introducir la guía corta.	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Video de apoyo
17. Actividad “Guía corta”	Actividad en la que el participante debe tomar la Guía Corta e introducirla por la aguja ya ubicada en el paciente.	Guía Corta Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
18. Pantalla Cateter	Pantalla que explica cómo insertar el catéter a través de la guía corta	Texto explicativo Botón de Entendido
19. Actividad “Catéter”	Actividad en la que el participante debe tomar el Catéter e introducirlo por la guía corta ya ubicada en el paciente.	Catéter Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
20. Pantalla Intercambiar	Pantalla que explica como retirar la guía corta e introducir la guía larga	Texto explicativo Botón de Entendido Video de apoyo
21. Actividad “Guía Larga”	Actividad en la que el participante debe retirar la Guía Corta del paciente e introducir la Guía Larga	Guía Corta Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
22. Pantalla Verificar	Pantalla que explica como verificar que la Guía Larga se mueva libremente.	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Imagen de apoyo
23. Actividad “Verificar”	Actividad en la que el participante debe tomar la Guía Larga y moverla hacia adelante y hacia atrás repetidas veces.	Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
24. Pantalla Retirar Catéter	Pantalla que indica retirar el Catéter	Texto explicativo Botón de Entendido

25. Actividad “Retirar Catéter”	Actividad en la que el participante debe retirar el Catéter del paciente.	Catéter Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
26. Pantalla Anticoagular Paciente	Pantalla que recuerda al participante que debe anti coagular al paciente antes de continuar	Texto explicativo Botón Entendido Video de apoyo
27. Pantalla Incisión	Pantalla que explica cómo realizar la incisión	Texto explicativo Botón de Entendido Imagen de apoyo
28. Actividad “Incisión”	Actividad en la que el participante debe realizar una incisión para abrirle paso a los Dilatadores y la Cánula	Bisturí Guía punteada Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
29. Pantalla Introducir Dilatador 1	Pantalla que explica cómo introducir los Dilatadores progresivamente	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Video de apoyo
30. Actividad “Introducir Dilatador 1”	Actividad en la que el participante debe introducir el Dilatador 1 (azul) a través de la Guía Larga	Guía Larga Dilatador 1 Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
31. Pantalla Verificar 2	Pantalla que explica como verificar que la Guía Larga se mueva libremente.	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Imagen de apoyo
32. Actividad “Verificar 2”	Actividad en la que el participante debe tomar la Guía Larga y moverla hacia adelante y hacia atrás repetidas veces.	Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
33. Pantalla Retirar Dilatador 1	Pantalla que indica cómo retirar el Dilatador 1	Texto explicativo Botón de Entendido Video de apoyo
34. Actividad “Retirar Dilatador”	Actividad en la que el participante debe retirar el Dilatador 1 del paciente	Dilatador 1 Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
35. Pantalla Introducir Dilatador 2	Pantalla que explica cómo introducir el Dilatador 2	Texto explicativo Texto de riesgos de la actividad Botón de Entendido Video de apoyo

36. Actividad “Introducir Dilatador 2”	Actividad en la que el participante debe introducir el Dilatador 2 (rojo) a través de la Guía Larga	Guía Larga Dilatador 2 Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
37. Pantalla Retirar Dilatador 2	Pantalla que indica cómo retirar el Dilatador 2	Texto explicativo Botón de Entendido Video de apoyo
38. Actividad “Retirar Dilatador 2”	Actividad en la que el participante debe retirar el Dilatador 1 del paciente	Dilatador 2 Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.
39. Pantalla Introducir Cánula	Pantalla que explica cómo introducir la Cánula en el paciente	Texto explicativo Botón de Entendido Video de apoyo
40. Actividad “Introducir Cánula”	Actividad en la que el participante debe introducir la Cánula en el paciente	Cánula Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
41. Pantalla Sacar punta del Mandril	Pantalla que indica sacar la punta del Mandril que está en la Cánula	Texto explicativo Botón de Entendido
42. Actividad “Sacar punta del mandril”	Actividad en la que el participante debe sacar la punta del Mandril que está en la Cánula	Cánula Mandril Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
43. Pantalla Insertar sección Cánula	Pantalla que indica insertar la sección de la Cánula que hace falta.	Texto explicativo Botón de Entendido
44. Actividad “Insertar sección Cánula”	Actividad en la que el participante debe tomar la Cánula y terminar de introducirla hasta la zona anillada.	Cánula Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
45. Pantalla Remover guía	Pantalla que indica remover la Guía Larga	Texto explicativo Video de apoyo
46. Actividad “Remover guía”	Actividad en la que el participante debe remover la Guía Larga del paciente	Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
47. Pantalla sacar todo el Mandril	Pantalla que indica al participante saca el Mandril completamente	Texto explicativo
48. Actividad “Sacar todo el Mandril”	Actividad en la que el participante debe sacar todo el Mandril	Mandril - Cánula Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración

49. Pantalla Pinzar Cánula	Pantalla que recuerda al paciente pinzar la Cánula justo después de sacar el Mandril	Texto explicativo Pinzas
50. Pantalla Suturar	Pantalla que recuerda al paciente que debe realizar una sutura después de pinzar	Texto explicativo Botón entendido Video de apoyo
51. Pantalla Revisar Sutura Fija	Pantalla que recuerda al participante revisar la sutura	Texto explicativo Texto que explica los riesgos Botón de Entendido Video de apoyo
52. Pantalla Conexión al Paciente	Pantalla que indica el inicio de la conexión al paciente.	Texto explicativo Botón de Entendido
53. Pantalla Pinzar Tuberías	Pantalla que indica pinzar las tuberías antes de conectarlas	Texto explicativo Botón de Entendido
54. Pantalla Conectar Tuberías	Pantalla que indica conectar las tuberías a la cánula	Texto explicativo Texto que explica los riesgos Botón de Entendido
55. Actividad Conectar Tuberías	Actividad en la que el participante debe tocar el punto en el que se toca la Cánula y la tubería para conectarlas	Tuberías Cánula Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
56. Pantalla Despinzar Cánulas	Pantalla que explica cómo despinzar la Cánulas	Texto explicativo Botón de Entendido
57. Pantalla Iniciar ECMO	Pantalla que indica el Inicio de la conexión a ECMO.	Texto explicativo Botón de Entendido
58. Pantalla Definir Revoluciones	Pantalla que pregunta ¿Cuál es la cantidad de revoluciones ideal para iniciar?	Texto de pregunta Botón de 1500rpm Botón de 1200rpm Botón de 4000rpm
59. Pantalla Error Revoluciones	Pantalla que indica respuesta errónea y da una corta pista.	Texto de error Botón de Intentar de nuevo
60. Actividad “Definir Revoluciones”	Actividad en la que el participante debe tocar la perilla de la consola para iniciar las revoluciones	Perilla Consola Video que simula las revoluciones
61. Pantalla Despinzar Tuberías	Pantalla que recuerda al participante despinzar las tuberías.	Texto explicativo Botón de Entendido
62. Pantalla Revisión Final	Pantalla que recuerda al participante hacer una revisión final de todo el	Texto explicativo Botón de Entendido

	círculo.	
63. Pantalla Puntuación Final	Pantalla que muestra los aciertos y errores del participante, así como su puntuación final.	Texto de finalización Botón de Repetir Entrenamiento Botón de Salir.

Nota. La tabla muestra las diferentes actividades y los componentes utilizados en el entorno virtual para hacerlas posibles.

4.3. Verificación de Requerimientos

La etapa de verificación se realizó con el objetivo de corroborar los requerimientos que componen las características del prototipo de interfaz, los cuales se encuentran establecidos en la Tabla 8, así mismo, se apunta a encontrar puntos débiles que se puedan mejorar antes de pasar a la etapa de validación.

4.3.1. Protocolo

Entre los requerimientos a evaluar se encontró que: la interfaz debe brindar retroalimentación cognitiva de tipo visual auditiva y táctil; la información representada debe ser legible y concisa, y finalmente; la interfaz debe llevar un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante.

Tabla 8

Requerimientos Verificación.

REQUERIMIENTOS DE INTERFAZ			
Requerimientos	Parámetro o unidad de medida	Valor de aceptación	Referencia
La interfaz debe llevar un seguimiento del proceso, así como de los aciertos y errores del participante	Valor de medición de porcentajes heurísticos.	Mayor a 50% para Bueno o Muy bueno, en cada heurística.	(García, T., et al, 2019)

La interfaz brinda retroalimentación cognitiva de tipo visual, auditiva y táctil.	Muy malo Malo		
La información representada es legible y concisa	Neutro Bueno Muy bueno		

Nota. Tres de los principales requerimientos son evaluados para identificar el estado de la interfaz de usuario.

4.3.2.Unidad Experimental

Para lograr esto, la unidad experimental se definió basada en el método de muestreo no probabilístico por conveniencia. Se decidió trabajar con dos tipos de participantes, el primer grupo compuesto por profesionales en salud (enfermeros o médicos) que hayan tratado a un paciente con terapia ECMO y el segundo grupo compuesto por estudiantes de últimos semestres de medicina que ya hayan realizado prácticas. Finalmente se decidió realizar las pruebas con una muestra poblacional de mínimo 5 participantes por grupo esto basado en la propuesta de Nielsen (2000).

Factores de inclusión:

- Hombres y mujeres dentro del rango de 24 y 58 años de edad.
- El participante se encuentra dentro del área metropolitana de Bucaramanga.

Factor de exclusión:

- Personas con alguna discapacidad cognitiva o física que impida la realización adecuada de la actividad.
- Personas que no pertenezcan al área de salud.

4.3.3.Tratamientos

ALI: Interfaz de usuario de Realidad Virtual para el entrenamiento de la terapia ECMO (Oxigenación por Membrana Extracorpórea) en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

4.3.4. Recursos

Tabla 9

Recursos para realizar las pruebas de verificación.

Herramienta	Uso
Protocolo de verificación	Guía para realizar la prueba
Computador Portátil con aplicación de Oculus instalada.	Medio a través del cual se controla la interfaz y se visualiza el procedimiento del participante mientras se desarrolla
Headset de Realidad Virtual Oculus Rift S con sus respectivos controles	Instrumento de inmersión de Realidad Virtual que permite al usuario realizar el entrenamiento en procedimiento de Canulación para la terapia ECMO.
Formulario de Heurísticas de usabilidad de Nielsen	Recolección de datos para evaluar la percepción de los participantes respecto a los requerimientos de interfaz planteados
Un espacio o salón de mínimo 4m x 4m	Espacio en el que se mueven los participantes al realizar las actividades
Cámara de video	Grabación de los gestos del participante para futuras referencias y ajustes de la interfaz.

Nota. Contiene las principales herramientas y equipos que se requieren para llevar a cabo las pruebas de verificación con usuarios de la manera más óptima.

4.3.5. Preparación de la prueba

Para el desarrollo de la prueba se usó un espacio vacío en el que los participantes se puedan mover al estar inmersos en la interfaz sin causar ningún daño. Se decidió realizar la prueba en el Laboratorio de Simulación, Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander, para comodidad de todos los participantes.

El tiempo designado para cada participante fue de aproximadamente 30 minutos en los que realizó el Tutorial de la interfaz y el procedimiento de Canulación una (1) vez, posteriormente

respondieron el formulario de verificación, el cual estaba abierto y listo para responder desde antes de iniciar la prueba.

En el Anexo L se presenta un video en el que se pueden observar las herramientas gráficas de la Figura 16 en la configuración formal de la interfaz propuesta. [Ver Anexo L](#)

4.3.6.Resultados

Las pruebas se realizaron con los siguientes grupos de participantes.

Tabla 10

Caracterización de participantes para la prueba de verificación.

Grupo	Profesión	Cantidad de participantes	Edad	Género	Nivel de Estudios
1	Estudiantes de medicina UIS	10	24 - 27 años	Hombre y Mujeres	Pre grado
2	Enfermeros y médicos de cuidado intensivo	5	30 - 58 años	Hombres y Mujeres	Postgrado

Figura 19

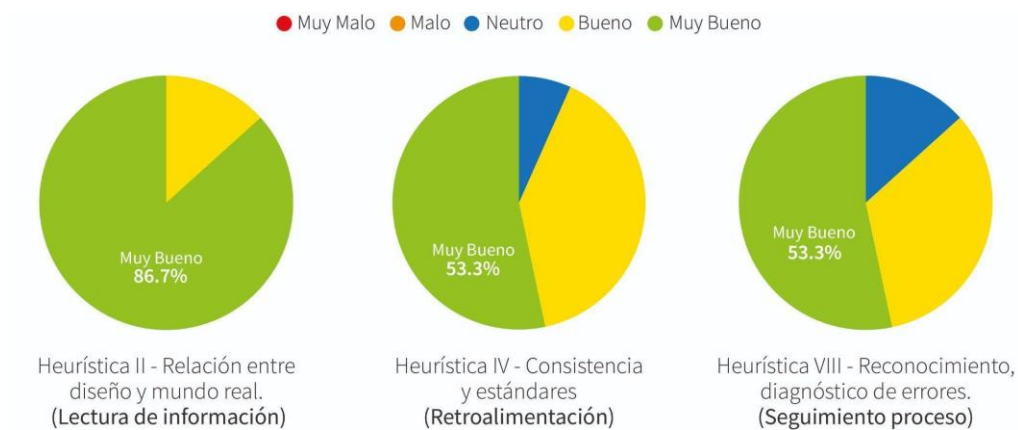
Imagen de 4 participantes de la muestra.



4.3.6.1. Heurísticas de Nielsen. Al finalizar este proceso y analizar los datos obtenidos, es posible decir que los resultados respecto a cada requerimiento valorado fueron favorables. Los tres requerimientos obtuvieron puntuación en las Heurísticas que los ubican en la sección “Muy bueno”. Sin embargo, el objetivo de esta etapa también era encontrar puntos débiles del prototipo, entre los cuales se encuentra la retroalimentación cognitiva brindada por la interfaz, así como otros detalles brindados por los participantes que se anotan en las observaciones con el objetivo de corregir antes de iniciar con la siguiente etapa.

Figura 20

Resultados verificaciones.



Nota. En las tres heurísticas evaluadas se obtiene un resultado bastante positivo, posicionándose en un nivel “Muy bueno”.

4.3.6.2. Interfaz de usuario. Las verificaciones arrojaron modificaciones en diferentes áreas de la interfaz, los primeros cambios se aplicaron al diseño de las pantallas que brindaban información, pues los participantes manifestaron que el botón “Entendido” que debían oprimir para iniciar la nueva actividad afectaba el flujo del procedimiento. Así mismo, se evidencio confusión con algunas tareas, pues los participantes no tenían claro si debían realizar el procedimiento que indicaba o solo debían leer la información. Estos cambios se vieron reflejados también en el Design Kit.

Figura 21

Design kit después de las modificaciones. [Ver Anexo M](#)

Design Kit - 2

Logo



Colores



Tipografía

Titulo 1 **AUDIOWIDE REGULAR**
 Titulo 2 **AUDIOWIDE REGULAR**
 Titulo 3 **Hind Siliguri SemiBold**
 Texto **Hind Siliguri Regular**

Botones



Iconos

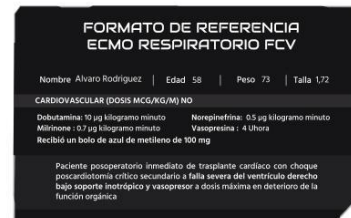


Componentes

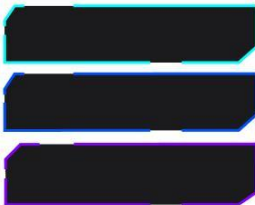
Pantallas de apoyo



Historia Clínica (Fragmento)



Pantallas de advertencia/error

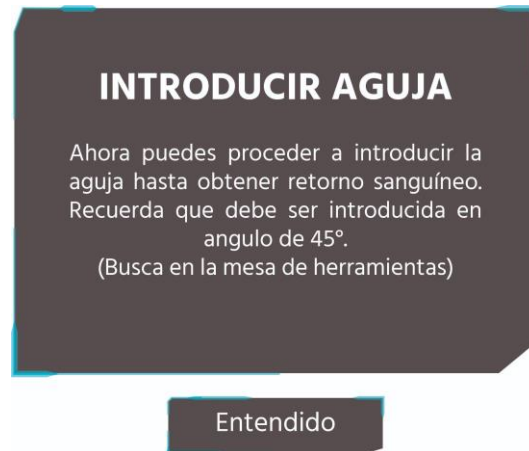


Pantallas de Riesgos



Figura 22

Diseño de pantallas antes de realizar la modificación.



Nota. La función del botón “Entendido” era confusa, este botón permitía ocultar la pantalla e iniciar con la siguiente actividad, sin embargo, en ocasiones no era percibido por los participantes y pasaban directamente a la tarea sin que esta estuviese activada, lo que retrasaba el procedimiento.

Debido a lo anterior, el botón “Entendido” fue eliminado en actividades donde puede causar conflicto con los participantes, además, se implementó un nuevo formato de pantallas, en el que se despliegan 4 tipos de pantallas:

Leer: Las pantallas con este ícono y color azul indican que el participante solo debe leer la información y hacer clic en el botón "Entendido" para continuar con el procedimiento.

Figura 23

Diseño pantalla Lectura.

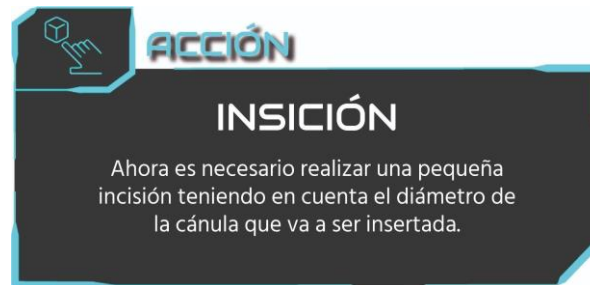


Nota. Las pantallas de Leer tienen un botón de “Siguiente”, lo que le permite al participante tomarse el tiempo que considere necesario para entender la información que se le suministra.

Acción: Las pantallas con este ícono y color aguamarina indican que el participante debe realizar una tarea (interactuar con los elementos de la interfaz).

Figura 24

Diseño pantalla Acción.



Nota. Estas pantallas ya no desaparecen cuando el participante inicia la actividad, sino que se mantienen en el entorno mientras realiza la acción, esto con el objetivo de que el participante tenga conciencia en el paso que va y lo que debe realizar.

Pregunta: Las pantallas con este ícono y color morado indican que el participante debe responder una pregunta sobre el procedimiento para poder continuar.

Figura 25

Diseño pantalla Responder.



Nota. Estas pantallas plantean preguntas y respuestas de opción múltiple, en base a la información que se le suministra durante el procedimiento,

Riesgos: Las pantallas con este icono y color rojo mostraban información acerca de los riesgos que podrían ocurrir durante la tarea que realizaban en ese momento.

Figura 26

Diseño pantalla Riesgos.

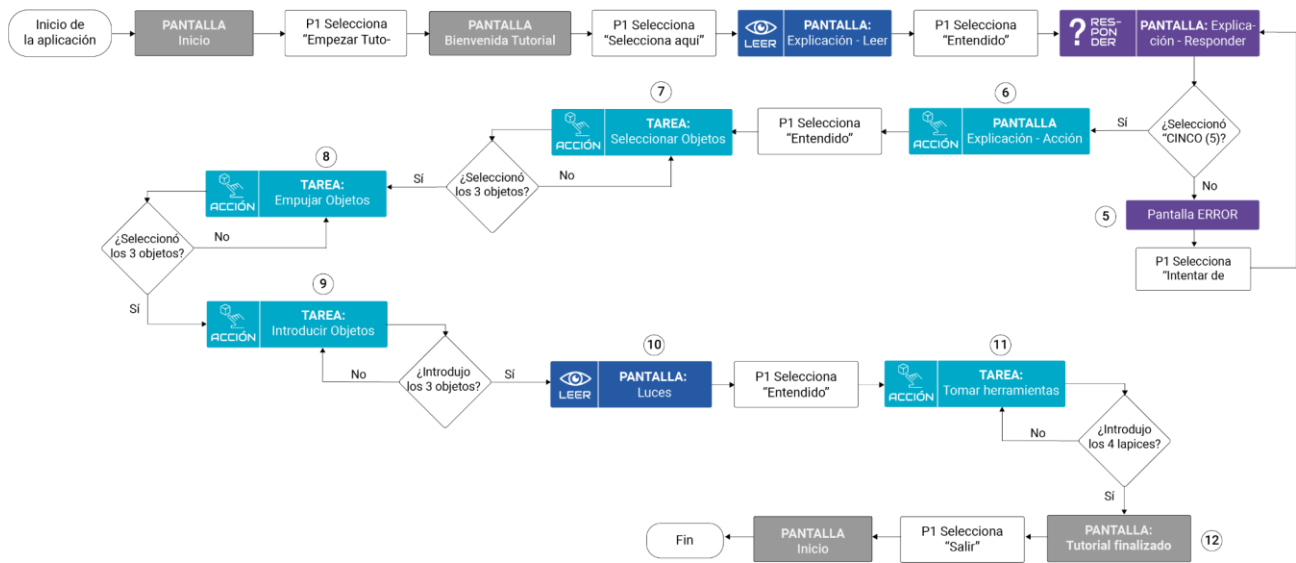


Nota. Estas pantallas aparecen junto a las pantallas de acción, cuando los participantes están realizando la tarea y les permite conocer los riesgos de la tarea que realizan.

El flujo de procedimiento también tuvo modificaciones debido a que durante las verificaciones los doctores brindaron retroalimentación del paso a paso, lo que permitió agregar nueva información a las actividades y adicionar nuevas tareas en el tutorial y en el procedimiento. A raíz de esto, el diagrama de flujo del tutorial estuvo sujeto a algunos cambios, como lo muestra la siguiente figura:

Figura 27

Diagrama de Flujo del Tutorial modificado. [Ver Anexo N](#)

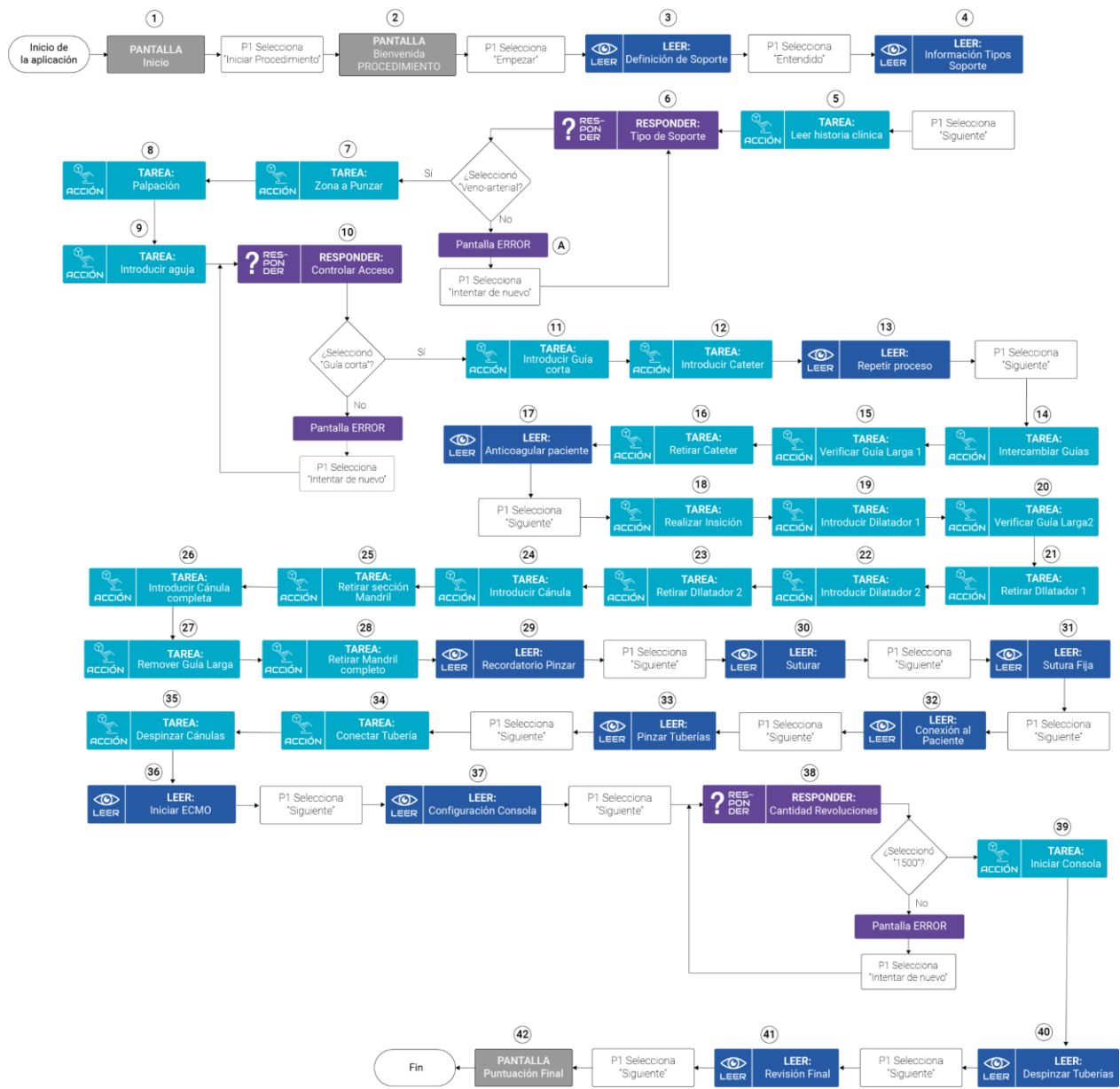


Nota. En el tutorial se agregó nueva información sobre el funcionamiento de la interfaz como lo es la categorización de las nuevas pantallas; así mismo, se eliminó el botón “Entendido” en las tareas que era requerido.

Por otro lado, el procedimiento de Canulación quedó con 23 actividades de acción, 12 actividades de Lectura y 3 actividades de Pregunta, un total 38 pantallas de información, como lo muestra el diagrama de flujo modificado y la tabla de descripción de pantallas y actividades del Procedimiento; además, se realizó un cambio relevante en el formato de la Historia Clínica del Paciente, dejando datos más específicos para definir el tipo de soporte que debían realizar los participantes.

Figura 28

Diagrama de Flujo del Procedimiento Canulación modificado. [Ver Anexo Ñ](#)



Nota. Como se evidencia en el diagrama, la simulación presentó un nuevo diseño de pantallas, lo que permitió identificar más fácilmente cuál era la intención de la actividad; así mismo, se eliminó el botón “Entendido” en las tareas que no era requerido, lo que hizo más sencillo seguir el flujo del procedimiento.

Tabla 11

Descripción de pantallas y actividades del Procedimiento modificado.

Pantalla/Actividad	Descripción	Componentes
1. Pantalla de Inicio	Es la pantalla inicial de la interfaz, se explica que para seleccionar cualquiera de las opciones debe oprimir el botón "A".	Logos institucionales Texto de Bienvenida Botón de Iniciar Tutorial Botón Iniciar Procedimiento
2. Pantalla de Bienvenida Procedimiento	Pantalla de Bienvenida que explica el objetivo del procedimiento	Texto de Bienvenida Botón "Empezar"
3. Pantalla Leer - Definición de Soporte	Pantalla que explica la primera actividad y cuál icono seleccionar a continuación.	Texto informativo Botón Entendido
4. Pantalla Leer- Información tipos de soporte	Pantalla que brinda información del soporte Venovenoso y Venovenoso-Arterial	Texto informativo Botón "Entendido" Imágenes de apoyo
5. Tarea "Leer historia clínica"	El participante debe buscar y seleccionar el icono para leer la historia clínica del paciente.	Icono de Historia clínica Historia Clínica
6. Pantalla Responder - Tipo de soporte	En base a la información de la pantalla de lectura y la historia clínica del paciente el participante decide qué tipo de soporte es el más adecuado. En caso de ser incorrecta la respuesta se mostrará una pantalla de error (Ver A).	Texto pregunta Botón "Venovenoso-Arterial" Botón "Venovenoso" Pantalla de error Botón de "Intentar de nuevo"
7. Tarea "Zona a Punzar"	El participante debe seleccionar cual es la mejor zona para Punzar.	Cubos de selección ubicados en diferentes partes del cuerpo del paciente. Pantalla que explica cómo debe seleccionar la zona.
8. Tarea "Palpación"	El participante debe tocar al paciente hasta sentir la vibración más fuerte, que indica el éxito de la palpación.	Pantalla en la que se explica cómo realizar la palpación. Imagen de apoyo Luz guía sobre la zona de palpación Componente que inicie la vibración.
9. Tarea "Introducir Aguja"	El participante debe tomar la Aguja e introducirla a 45° aproximadamente.	Pantalla de información sobre la forma correcta de introducir la aguja Pantalla de riesgos Video de apoyo Aguja Guía puntada para ubicar la aguja a 45° Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración

<p>10. Pantalla Responder - Controlar Acceso</p>	<p>Pantalla que plantea la pregunta para elegir la mejor herramienta para la siguiente actividad. En caso de ser incorrecta la respuesta se mostrará una pantalla de error.</p>	<p>Texto de pregunta Pantalla de recordatorio Botón “Catéter” Botón “Guía Corta” Botón “Guía Larga” Pantalla de error Botón de “Intentar de nuevo”</p>
<p>11. Tarea “Guía Corta”</p>	<p>El participante debe tomar la Guía Corta e introducirla por la aguja ya ubicada en el paciente. Pantalla que explica cómo introducir la guía corta.</p>	<p>Pantalla que explica cómo introducir la guía corta. Pantalla de riesgos Video de apoyo Guía Corta Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>12. Tarea “Introducir Catéter”</p>	<p>El participante debe tomar el Catéter e introducirlo por la guía corta ya ubicada en el paciente.</p>	<p>Pantalla que explica cómo insertar el catéter a través de la guía corta Catéter Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>13. Pantalla Leer - Repetir proceso</p>	<p>Se proporciona información de lo que se debe hacer en la vena venosa hasta el momento del procedimiento.</p>	<p>Texto explicativo Botón de “Entendido” Catéter en la vena venosa</p>
<p>14. Tarea “Intercambiar guías”</p>	<p>El participante debe retirar la Guía Corta del paciente e introducir la Guía Larga</p>	<p>Pantalla que explica como retirar la guía corta e introducir la guía larga Video de apoyo Guía Corta Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración.</p>
<p>15. Tarea “Verificar Guía Larga 1”</p>	<p>El participante debe tomar la Guía Larga y moverla hacia adelante y hacia atrás repetidas veces.</p>	<p>Pantalla que explica el movimiento para verificar el paso de la guía Video de apoyo Pantalla de riesgos Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>16. Tarea “Retirar Catéter”</p>	<p>El participante debe retirar el Catéter del paciente.</p>	<p>Pantalla que indica retirar el Catéter Catéter Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>17. Pantalla Leer - Anti coagular Paciente</p>	<p>Pantalla que recuerda al participante que debe anti coagular al paciente antes de</p>	<p>Texto explicativo Botón “Siguiente”</p>

	continuar	Video de apoyo
18. Tarea “Realizar Incisión”	El participante debe realizar una incisión para abrirle paso a los Dilatadores y la Cánula	Pantalla que explica cómo realizar la incisión Imagen de apoyo Bisturí Guía punteada Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
19. Tarea “Introducir Dilatador 1”	El participante debe introducir el Dilatador 1 (azul) a través de la Guía Larga	Pantalla que explica cómo introducir los Dilatadores progresivamente Video de apoyo Pantalla de riesgos Guía Larga Dilatador 1 Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
20. Tarea “Verificar Guía Larga 2”	El participante debe tomar la Guía Larga y moverla hacia adelante y hacia atrás repetidas veces.	Pantalla que explica el movimiento para verificar el paso de la guía Video de apoyo Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
21. Tarea “Retirar Dilatador 1”	El participante debe retirar el Dilatador 1 del paciente	Pantalla que indica cómo retirar el Dilatador 1 Video de apoyo Dilatador 1 Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
22. Tarea “Introducir Dilatador 2”	El participante debe introducir el Dilatador 2 (rojo) a través de la Guía Larga	Pantalla que explica cómo introducir el Dilatador 2 Imagen de apoyo Guía Larga Dilatador 2 Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
23. Tarea “Retirar Dilatador 2”	El participante debe retirar el Dilatador 1 del paciente	Pantalla que indica cómo retirar el Dilatador 2 Imagen de apoyo Dilatador 2 Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración

<p>24. Tarea “Introducir Cánula”</p>	<p>El participante debe introducir la Cánula en el paciente</p>	<p>Pantalla que explica cómo introducir la Cánula Video de apoyo Cánula Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>25. Tarea “Retirar sección mandril”</p>	<p>El participante debe sacar la punta del Mandril que está en la Cánula</p>	<p>Pantalla que indica sacar la punta del Mandril que está en la Cánula Cánula Mandril Esfera que marca el límite Luces verdes y rojas Luz azul Componente que inicie la vibración</p>
<p>26. Tarea “Introducir Cánula Completa”</p>	<p>El participante debe tomar la Cánula y terminar de introducirla hasta la zona anillada.</p>	<p>Pantalla que indica insertar la sección de la Cánula que hace falta Mandril Cánula Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>27. Tarea “Remover Guía Larga”</p>	<p>El participante debe remover la Guía Larga del paciente</p>	<p>Pantalla que indica remover la Guía Larga Video de apoyo Guía Larga Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>28. Tarea “Retirar Mandril Completo”</p>	<p>El participante debe sacar todo el Mandril</p>	<p>Pantalla que indica al participante saca el Mandril completamente Mandril Cánula Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración</p>
<p>29. Pantalla Leer - Recordatorio Pinzar</p>	<p>Pantalla que recuerda al paciente pinzar la Cánula justo después de sacar el Mandril</p>	<p>Texto explicativo Pinzas Botón “Siguiente”</p>
<p>30. Pantalla Leer - Suturar</p>	<p>Pantalla que recuerda al paciente que debe realizar una sutura después de pinzar</p>	<p>Texto explicativo Botón “Siguiente” Sutura cerca al Cánula Video de apoyo</p>
<p>31. Pantalla Leer - Sutura Fija</p>	<p>Pantalla que recuerda al participante revisar la sutura</p>	<p>Texto explicativo Pantalla de riesgos Botón de “Siguiente” Video de apoyo</p>

32. Pantalla Leer - Conexión al Paciente	Pantalla que indica el inicio de la conexión al paciente.	Texto explicativo Botón de “Siguiente” Tuberías
33. Pantalla Leer - Pinzar Tuberías	Pantalla que indica pinzar las tuberías antes de conectarlas	Texto explicativo Botón de “Siguiente” Imagen de acción correcta Luces azules Pinzas sobre tuberías
34. Tarea “Conectar Tuberías”	El participante debe tocar el punto en el que se toca la Cánula y la tubería para conectarlas	Pantalla que indica conectar las tuberías a la cánula Pantalla de riesgos Tuberías Cánula Jeringa de irrigación y agua Esfera en el punto de unión Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
35. Tarea “Despinzar Cánulas”	El participante retira las pinzas en la zona de la cánula.	Pantalla que explica cómo despinzar la Cánulas Pinzas Luces verdes y rojas Componente que inicie la vibración
36. Pantalla Leer - Iniciar ECMO	Pantalla que indica el Inicio de la conexión a ECMO.	Texto explicativo Pantalla de riesgos Botón de “Siguiente”
37. Pantalla Leer - Configuración Consola	Pantalla que da al participante información relevante para tomar una decisión sobre las revoluciones a las que debe iniciar la consola.	Texto explicativo Botón de “Siguiente”
38. Pantalla Responder - Cantidad Revoluciones	Pantalla que pregunta ¿Cuál es la cantidad de revoluciones ideal para iniciar? En caso de ser incorrecta la respuesta se mostrará una pantalla de error.	Texto de pregunta Botón de 1500rpm Botón de 1200rpm Botón de 4000rpm Pantalla de error Botón de “Intentar de nuevo”
39. Tarea “Inicial Consola”	El participante debe tocar la perilla de la consola para iniciar las revoluciones	Perilla Consola Video que simula las revoluciones
40. Pantalla Leer - Despinzar Tuberías	Pantalla que recuerda al participante despinzar las tuberías.	Texto explicativo Botón de “Entendido”
41. Pantalla Leer -	Pantalla que recuerda al participante	Texto explicativo

Revisión Final	hacer una revisión final de todo el circuito.	Botón de “Entendido”
42. Pantalla Puntuación Final	Pantalla que muestra los aciertos y errores del participante, así como su puntuación final.	Texto de finalización Botón de Repetir Entrenamiento Botón de Salir.

Nota. El número de interacciones se reduce debido a que las pantallas no están separadas de la tarea, lo que permite que el flujo sea más natural durante la simulación; así mismo, se agregan nuevas pantallas para complementar la información en la toma de decisiones.

Tomando en cuenta los resultados de las verificaciones y después de realizar los respectivos cambios podemos encontrar los escenarios del tutorial y el procedimiento de Canulación integrado y fácil de entender. A continuación, se presenta un video en el que se evidencia la interfaz de entrenamiento ALI y el proceso de entrenamiento. [Ver Anexo O](#)

Figura 29

Diseño interfaz de usuario del Tutorial.



Nota. Dentro del tutorial se les permite a los participantes ver los controles en la interfaz como lo muestra la imagen, esto con el fin que puedan reconocer con mayor facilidad la ubicación de los botones.

Figura 30

Diseño interfaz de usuario del Procedimiento Médico.

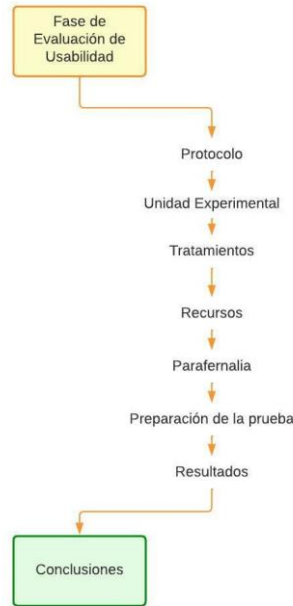


Nota. En el procedimiento de Canulación también se realizaron cambios en las luces, permitiendo que estas cubrieran un mayor diámetro, lo que hacía más evidente la falla o el acierto, asimismo se resaltaron partes del procedimiento con el apoyo de nueva información e iconos.

5. Fase de Evaluación

Figura 31

Estructura del desarrollo de la fase de evaluación de Usabilidad.



Nota. El mapa muestra el flujo de información planteado para el desarrollo de la fase.

5.1. Protocolo

Los ítems a evaluar se dividen en 2 grupos: el primer grupo consta del nivel de usabilidad de la interfaz en términos de eficiencia, eficacia y satisfacción y la fidelidad en escenarios simulados; en el segundo grupo se evalúan los objetivos de aprendizaje realizando una prueba de conocimiento antes del procedimiento y un test de retención al terminar la simulación.

Tabla 12

Requerimientos a evaluar con usuarios.

Evaluar	Parámetro o unidad de medida	Valor de aceptación	Referencia
Usabilidad	<p>Eficiencia: Tiempo que tarda en completar el procedimiento</p> <p>Eficacia: Nivel de éxito de la tarea, según la cantidad de solicitudes de ayuda.</p> <p>Éxito: 0 - 1 solicitudes</p> <p>Éxito parcial: 2 - 3 solicitudes</p>	<p>Eficiencia: 900 a 1200 segundos</p> <p>Eficacia: Éxito y Éxito parcial.</p> <p>Satisfacción: De 80 a 100 (“Aceptable” en Escala de aceptabilidad)</p>	(Blair-Early & Zender, 2008)

	<p>Fallo: 4 + solicitudes</p> <p>Satisfacción: Nivel de satisfacción de uso de la simulación según la Escala SUS.</p> <p>No aceptable: 0 - 49</p> <p>Marginal: 50 - 69</p> <p>Aceptable: 70 - 100</p>	y “Excelente o Ideal” en Escala de adjetivos)	
Fidelidad	<p>Indicadores para medir fidelidad en escenarios simulados, evaluados a través de la escala Likert</p> <p>Nivel de Fidelidad</p> <p>Bajo: 0 - 29</p> <p>Medio: 30 - 59</p> <p>Alto: 60 - 70</p>	Mayor al 60% Entre los valores Medio y Alto	(Coro-Montanet, et al, 2020)
Aprendizaje	<p>Nivel de conocimiento previo</p> <p>Bajo: 13-26 puntos</p> <p>Medio: 27 a 39 puntos</p> <p>Alto: 40 a 49 puntos</p> <p>Muy alto: 50 a 52.5 puntos</p> <p>Nivel de Retención</p> <p>Bajo: 0 - 15 puntos</p> <p>Medio: 16 a 34 puntos</p> <p>Alto: 35 a 39 puntos</p> <p>Muy alto: 40 a 50 puntos</p>	Nivel de Retención Alto o Muy alto	(Cárdenas López, Sánchez & Castillo, 2016)

5.2.Unidad Experimental

La unidad experimental se basó en el método de muestreo no probabilístico por conveniencia, el juicio subjetivo surge de acuerdo a la necesidad de evaluación de los requerimientos planteados. Se decidió trabajar con tres grupos de participantes: el primer grupo compuesto por estudiantes de medicina de último y penúltimo semestre de la Universidad Industrial de Santander, el segundo grupo se compone de médicos que estén participando del Curso de Terapia ECMO ofrecido por la Fundación Cardiovascular (FCV) y el tercer grupo de médicos que han tenido previa experiencia con pacientes en terapia ECMO. Finalmente se decidió realizar

las pruebas con una muestra poblacional de mínimo 5 participantes por grupo esto basado en la propuesta de Nielsen (2000).

Factores de inclusión:

- Hombres y mujeres dentro del rango de 24 y 58 años de edad.
- El participante se encuentra dentro del área metropolitana de Bucaramanga.

Factor de exclusión:

- Personas con alguna discapacidad cognitiva o física que impida la realización adecuada de la actividad.
- Personas que no pertenezcan al área de salud.

5.3.Tratamientos

ALI: Interfaz de usuario de Realidad Virtual para el entrenamiento de la terapia ECMO (Oxigenación por Membrana Extracorpórea) en la Fundación Cardiovascular de Colombia (FCV).

5.4.Recursos

Tabla 13

Recursos para las pruebas de evaluación con usuarios.

Herramienta	Uso
Protocolo de Evaluación de requerimientos	Guía para realizar la prueba
Formularios de Usabilidad, Fidelidad, Test de conocimiento previo y Test de retención.	Medio por el cual se realiza la recolección de datos
Cronograma de los encuentros con los participantes	Organizar y planificar las reuniones.
Computador Portátil con aplicación de Oculus instalada.	Medio a través del cual se controla la interfaz y se visualiza el procedimiento del participante mientras se desarrolla
Headset de Realidad Virtual Oculus Rift S Con respectivos controles	Instrumento de inmersión de Realidad Virtual que permite al usuario realizar el entrenamiento en procedimiento de Canulación para la terapia ECMO.

Un espacio o salón de mínimo 4m x 4m	Espacio en el que se mueve el participante mientras realiza el procedimiento inmerso en un escenario de Realidad Virtual.
--------------------------------------	---

Nota. Contiene las principales herramientas y equipos que se requieren para llevar a cabo las pruebas de Evaluación con usuarios de la manera más óptima.

5.5.Preparación de la prueba

La prueba se llevó a cabo de manera presencial, debido a que eran varios grupos de prueba se dispusieron dos locaciones, dentro de las instalaciones de la Fundación Cardiovascular (FCV) en Floridablanca se evaluaron a los Médicos con Experiencia en ECMO y a los Médicos en entrenamiento inscritos en el curso brindado por la institución. Así mismo, en el Laboratorio de Simulación, Facultad de Salud de la Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, se evaluaron a los Estudiantes de medicina de últimos semestres. El tiempo designado para cada participante fue de aproximadamente 60 minutos en los que realizaron el procedimiento de Canulación Veno-Arterial en la simulación de realidad virtual, interfaz ALI, así como respondieron a los formularios dispuestos para recolectar información de la prueba.

Es necesario mencionar que se analizaron tres grupos de participantes distintos, de esta manera se encontraron diferencias en el tiempo de realización de la tarea, la cantidad de solicitudes de ayuda, su satisfacción respecto al uso de la interfaz y su percepción de fidelidad a la realidad.

5.6.Resultados

Las pruebas se realizaron con los siguientes grupos de participantes.

Tabla 14

Caracterización de participantes para la evaluación.

Grupo	Profesión	Cantidad de participantes	Edad	Género	Nivel de Estudios
-------	-----------	---------------------------	------	--------	-------------------

1	Estudiantes de medicina UIS	16	24 - 27 años	Hombre y Mujeres	Pre grado
2	Médicos en entrenamiento ECMO	10	24 - 35 años	Hombre y Mujeres	Postgrado en curso
3	Médicos de cuidado intensivo	4	30 - 58 años	Hombres y Mujeres	Postgrado

Nota. Debido a la poca disponibilidad de médicos que cumplieran con los factores de inclusión de la unidad experimental planteada, se realiza la evaluación del grupo 3 con solo 4 médicos de cuidado intensivo de la FCV.

5.6.1. Nivel de usabilidad

Los resultados obtenidos respecto a la usabilidad de la interfaz son cercanos a lo que se esperaba al inicio del proyecto. En términos de eficiencia, los tres grupos estuvieron dentro del rango aceptable (900 a 1200 seg), incluso rompiendo con esta expectativa. El Grupo 1, estudiantes de medicina, obtuvieron un promedio de 942.75 seg con una desviación estándar de 169, el mayor tiempo registrado de los tres. El Grupo 2, los médicos en entrenamiento, obtuvieron un promedio de tiempo de 834.5 seg con una desviación estándar de 122. Finalmente, el Grupo 3, los médicos expertos, tuvieron un promedio de 614 seg para completar la tarea, con una desviación estándar de 221. Este último, era un resultado esperado debido al amplio conocimiento de los médicos con experiencia.

Figura 32

Desviación Estándar Grupo #1 Estudiantes de Medicina.

Desviación Estándar - Eficiencia

Grupo #1 - Estudiantes Medicina

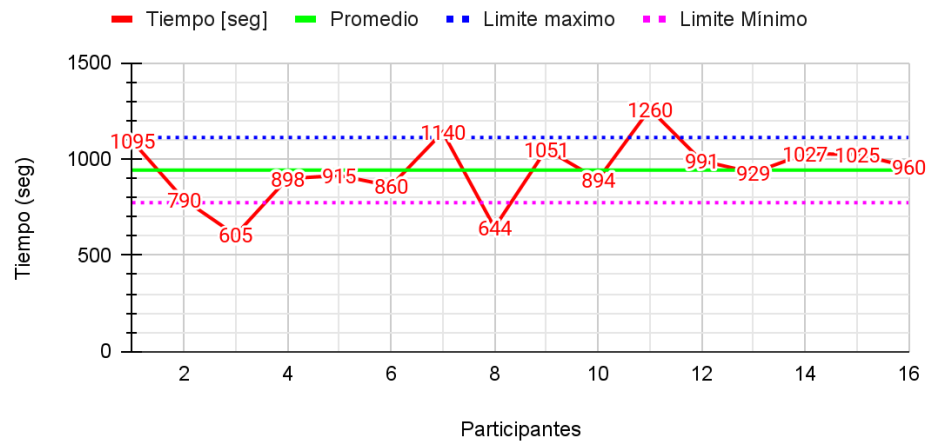


Figura 33

Desviación Estándar Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO.

Desviación Estándar - Eficiencia

Grupo #2 - Médicos Entrenamiento ECMO

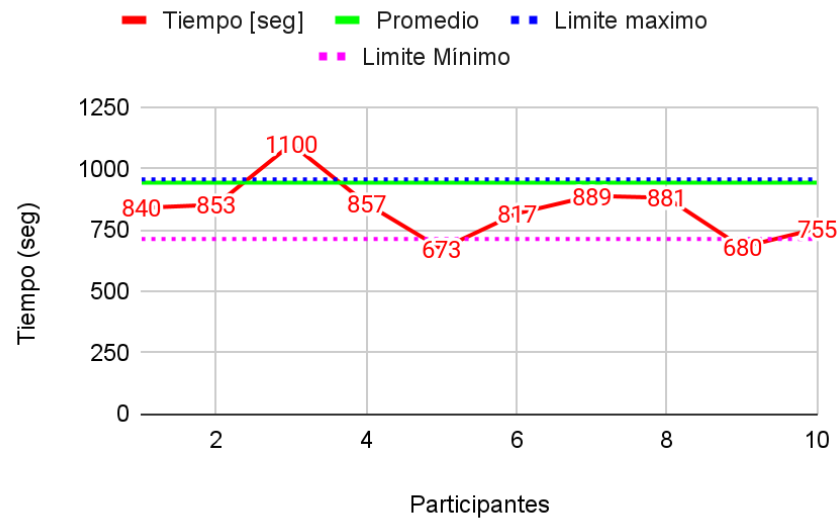
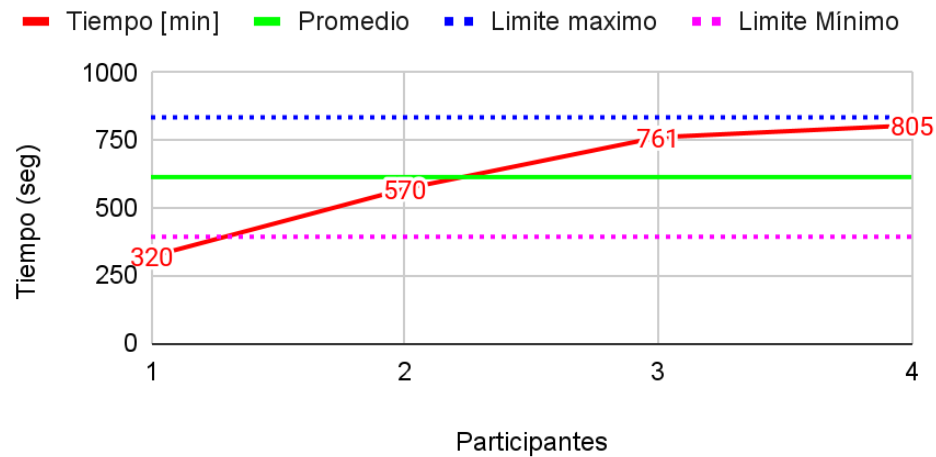


Figura 34

Desviación Estándar Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO.

Desviación Estándar - Eficiencia

Grupo #3 - Médicos Experiencia ECMO

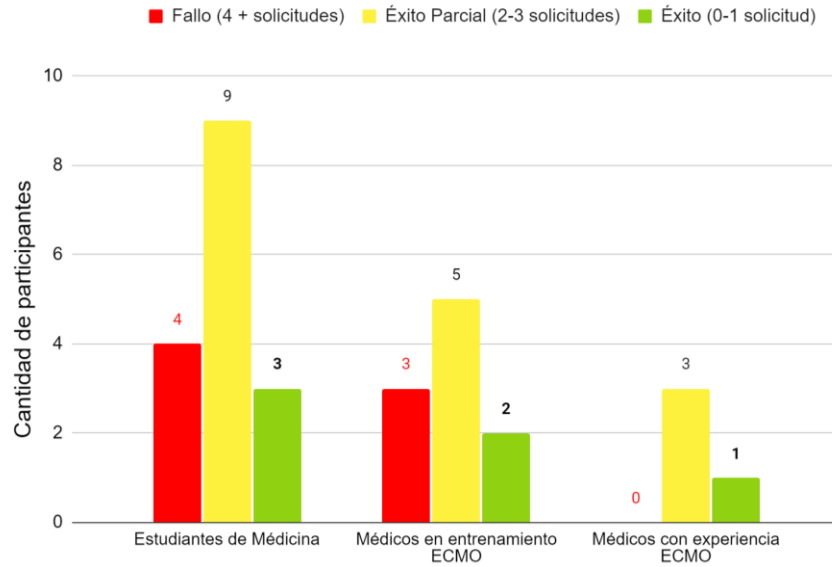


En términos de eficacia, hay que recordar que el éxito se categorizó a partir de la cantidad de solicitudes de ayuda que el participante usó durante el desarrollo de la prueba; cada vez que el participante realizaba una pregunta sobre el proceso se consideraba una solicitud (Ver Tabla 12, requerimiento eficiencia).

Teniendo en cuenta lo anterior, fue posible decir que en todos los grupos la mayoría de participantes obtuvo un Éxito Parcial, es decir, realizaron entre 2 y 3 solicitudes de ayuda durante la prueba. El grupo con más fallos es el Grupo 1, Estudiantes de medicina con un total de 4, y el grupo con menos fallos es el Grupo 3, Médicos con experiencia en ECMO, con un total de 0. Lo anterior es esperado teniendo en cuenta la diferencia en el tamaño de las muestras y en la experiencia previa de cada población.

Figura 35

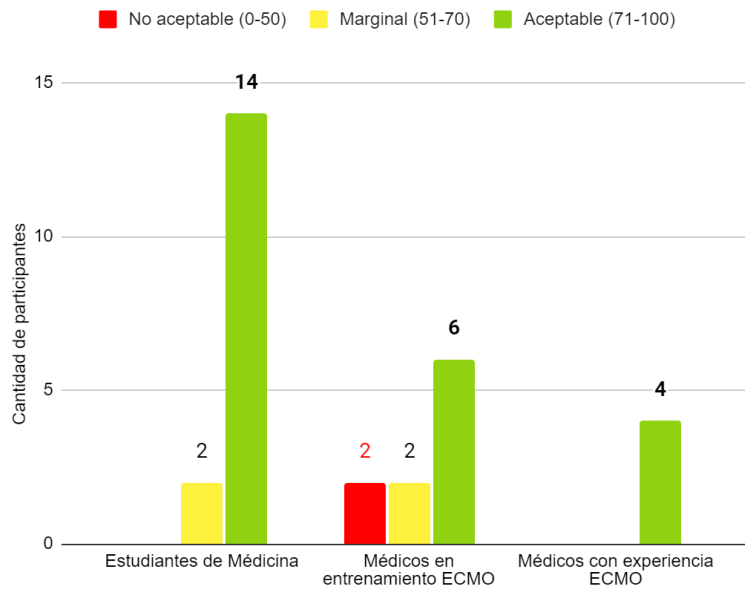
Resultado Eficacia.



Respecto a la satisfacción, los grupos mostraron una amplia aceptabilidad hacia la interfaz, la mayor cantidad de personas obtuvo un puntaje por encima del rango de 70. En el Grupo 2, médicos en entrenamiento, 4 de los 10 participantes calificaron la interfaz con una puntuación menor a 70.

Figura 36

Resultado Satisfacción.



Nota. El grupo de médicos en entrenamiento ECMO obtuvo el resultado más bajo respecto a satisfacción. Es posible decir que este resultado fue debido a las condiciones en que fueron realizadas las pruebas, directamente después de haber utilizado una simulación física que exigía rapidez y mucha presión de los instructores.

5.6.2. Nivel de fidelidad

Esta prueba se realizó solo con dos de los grupos de evaluación (Grupo 2 y Grupo 3), los médicos en entrenamiento y los médicos con experiencia. Esto debido a que los estudiantes de medicina no se han enfrentado al manejo de pacientes en ECMO por lo que no podrían comparar el nivel de fidelidad de la interfaz a una situación real. Para evaluarlo se usaron los indicadores de fidelidad planteados por Coro-Montanet (2020).

Tabla 15

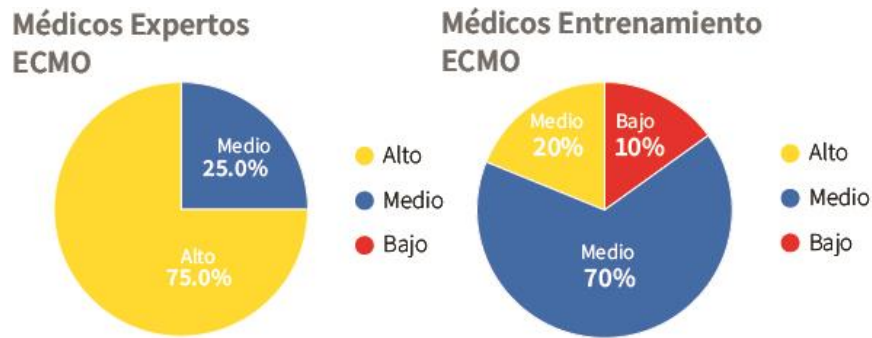
Caracterización de participantes para la evaluación del nivel de fidelidad.

Grupo	Profesión	Cantidad de participantes	Edad	Género	Nivel de Estudios
2	Médicos en entrenamiento ECMO	10	24 - 35	Hombre y Mujeres	Postgrado en curso
3	Médicos de cuidado intensivo	4	30 - 58 años	Hombres y Mujeres	Postgrado

Los resultados arrojaron un nivel de fidelidad Medio según el 70% de los Médicos en Entrenamiento ECMO, con un puntaje promedio de 50.6 (de 70) y una desviación estándar de 12.5. Por otro lado, el 75% de los Médicos Expertos obtuvieron un nivel de fidelidad Alto, con un puntaje promedio de 45.95 (de 70) y una desviación estándar de 8.7. [Ver Anexo P](#)

Figura 37

Resultado Nivel de Fidelidad.



Nota: Es importante recordar que la población de Médicos en Entrenamiento ECMO no contaba con una experiencia amplia con pacientes reales.

Figura 38

Desviación Estándar - Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO.

Desviación Estándar - Nivel de Fidelidad

Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO

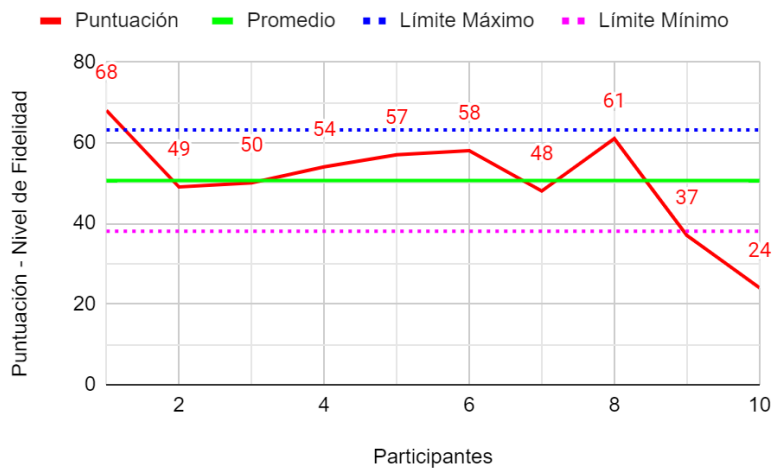
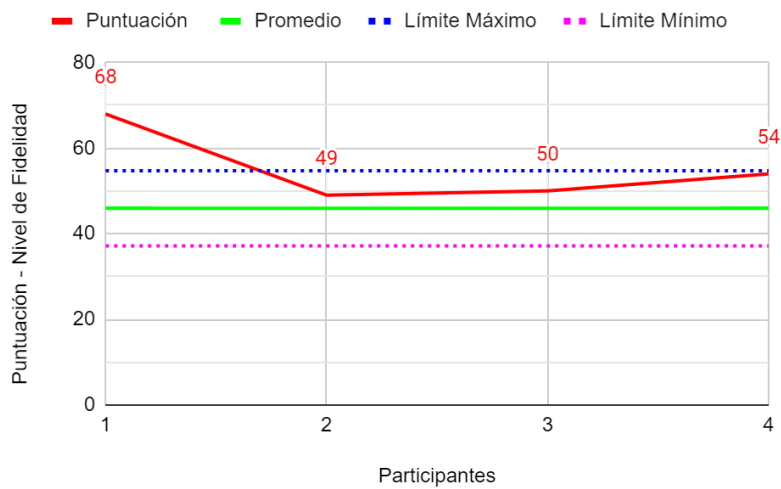


Figura 39

Desviación Estándar - Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO.

Desviación Estándar - Nivel de Fidelidad

Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO



5.6.3. Objetivos de aprendizaje

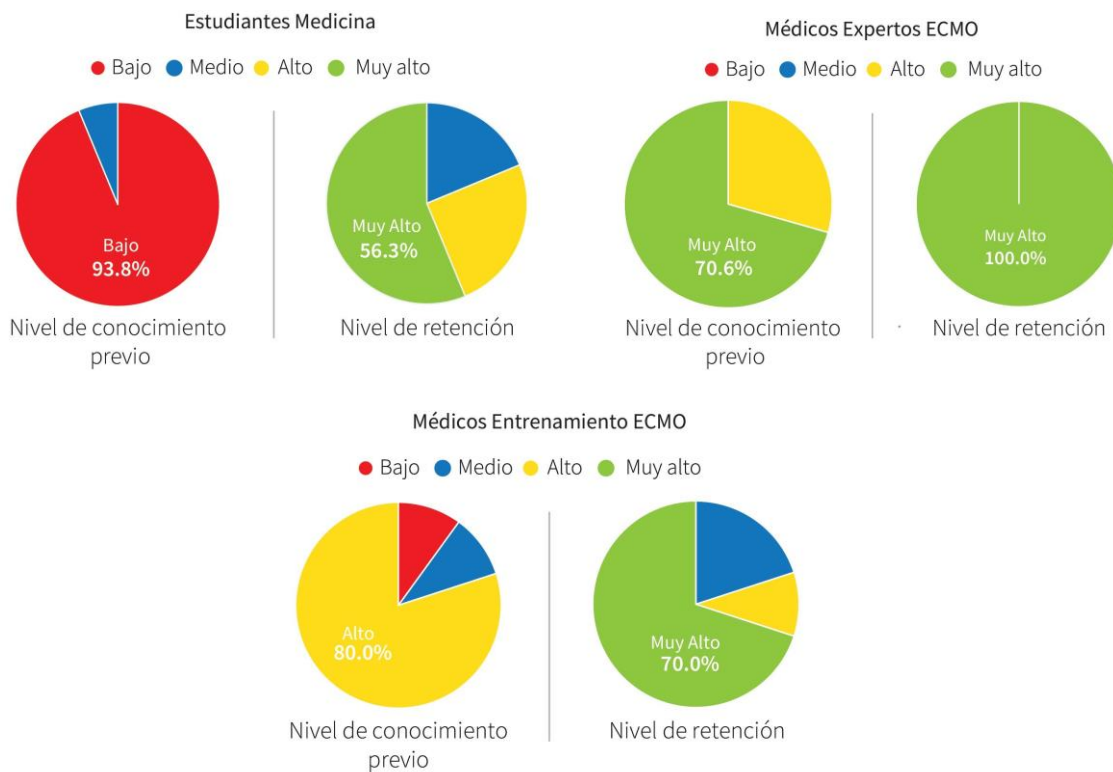
Los objetivos de aprendizaje se evaluaron a través de 2 encuestas: la encuesta de conocimiento previo, la cual se realizó antes de utilizar la interfaz de entrenamiento ALLI. Esta contenía preguntas básicas sobre el tema de canulación y terapia ECMO, con el fin de conocer los saberes de los participantes en el tema y obtener una puntuación cuantificable. Posterior al uso de la interfaz se realizó de inmediato el test de retención, el cuál contenía preguntas relacionadas al procedimiento que llevaron a cabo en la simulación. Esto permitió observar el nivel de retención de información de los participantes. [Ver Anexo Q](#)

En cuanto a los resultados, es posible decir que después de usar la interfaz, el 56% de los Estudiantes de Medicina presentaron un Nivel de Retención Muy Alto, con un puntaje promedio de 37.5 (de 50) y una desviación estándar de 6.58 La población con el nivel de retención más bajo estuvo en el grupo de Médicos en Entrenamiento. Cerca del 30% de la muestra obtuvo un nivel de retención Medio, en general el grupo obtuvo un puntaje de 40.3 (de 50) con una desviación estándar de 6.48.

Por último, la población que obtuvo los mejores resultados desde la perspectiva del proyecto fue el Grupo 1 Estudiantes de Medicina, teniendo en cuenta que empiezan la prueba con un nivel de conocimiento Bajo-Medio, pero obtienen resultados similares y mejores que los Médicos en entrenamiento, presentando un nivel de retención Alto y Muy alto en más del 80% de la muestra, un puntaje promedio de 37.5 (de 50) y una desviación estándar de 6.58. [Ver Anexo R](#)

Figura 40

Resultado evaluación de los objetivos de aprendizaje.



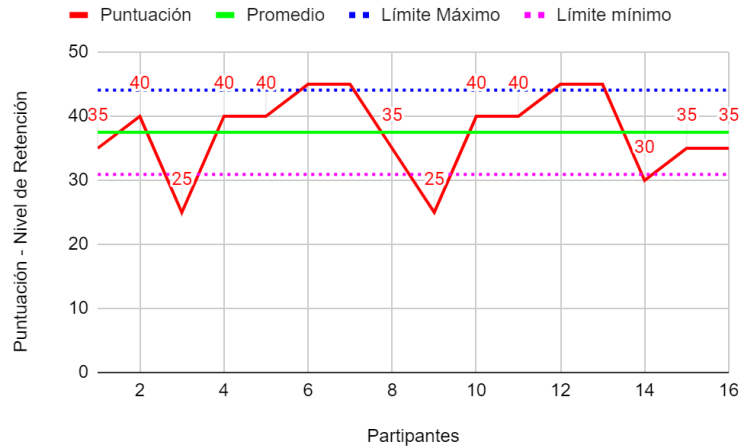
Nota. Las gráficas evidencian un aumento relevante en el aprendizaje del procedimiento antes y después de realizar la simulación, dejando un nivel de retención muy alto para todos los grupos.

Figura 41

Desviación estándar de los 3 grupos de participantes en el Test de Retención.

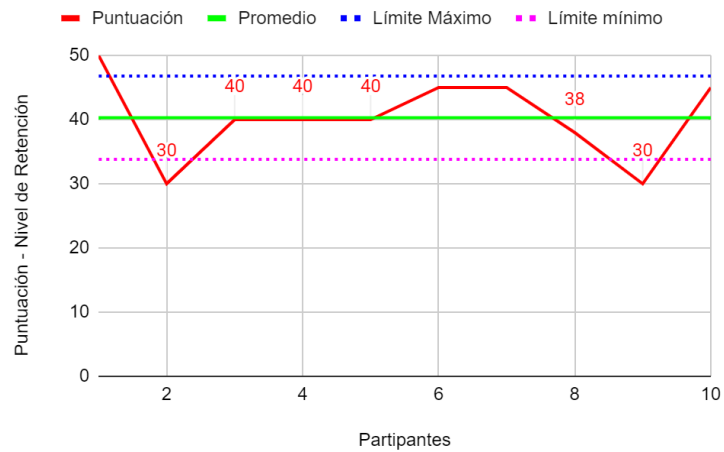
Desviación Estándar - Test de Retención

Grupo #1 Estudiantes Medicina



Desviación Estándar - Test de Retención

Grupo #2 Médicos Entrenamiento ECMO



Desviación Estándar - Test de Retención

Grupo #3 Médicos Experiencia ECMO

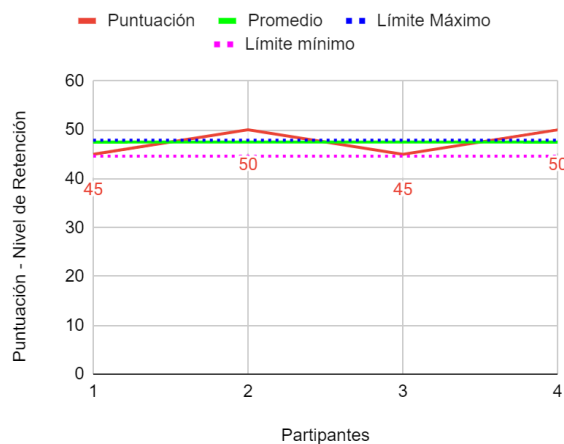
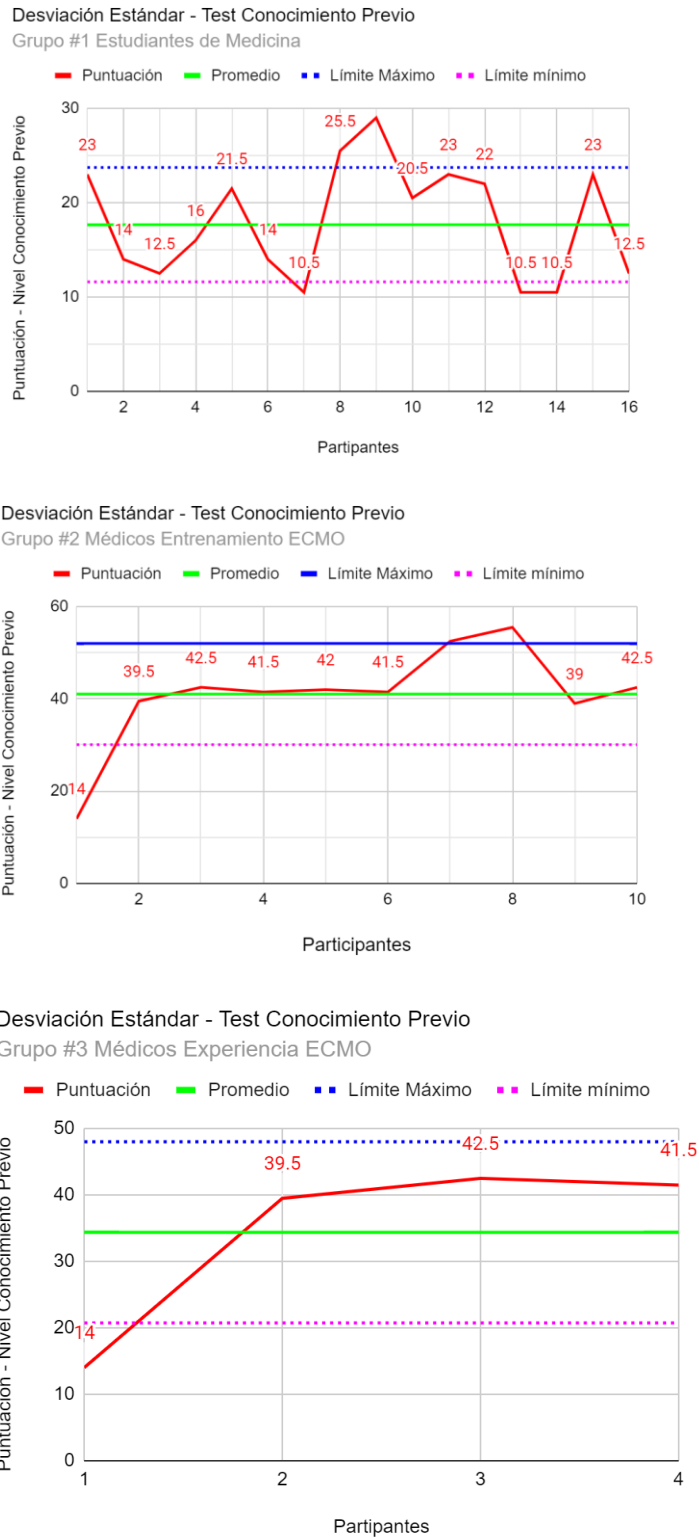


Figura 42

Desviación estándar de los 3 grupos de participantes en el Test de Conocimiento Previo.



6. Análisis y discusión de resultados

Durante la validación se observó que los estudiantes, con un conocimiento Bajo-Medio del procedimiento, se tomaban el tiempo necesario para leer y realizar el proceso paso a paso; caso contrario sucedió con los Médicos en Entrenamiento y los Médicos Expertos, los cuales realizaron el proceso lo más rápido posible y trataron incluso de saltar algunos pasos sin leer las instrucciones. Es posible que este comportamiento se deba a la experiencia previa de los médicos con pacientes en estado crítico, pues al ser conscientes de la presión y el ritmo que se maneja en una situación real, es de esperar que intenten realizarlo de la misma manera en una simulación. Todo esto se ve reflejado en los resultados de tiempo, en donde los estudiantes tardaron más de 942.75 seg en completar la actividad, con una desviación estándar de 169 y los médicos aproximadamente 614 seg para completar la tarea, con una desviación estándar de 221, es decir, existe una diferencia cercana a 300 segundos entre los dos grupos.

Los objetivos de aprendizaje se cumplieron entre un nivel Alto y Muy Alto aproximadamente, lo que confirma el objetivo general del proyecto; la interfaz debe funcionar como herramienta complementaria de formación al curso de la Fundación Cardiovascular (FCV). Los participantes demostraron adquirir altos niveles de retención teniendo poca experiencia con controles de realidad virtual y con el procedimiento médico. Entonces, es posible decir, que el uso continuo de la interfaz podría en un futuro mejorar la adquisición de conceptos teóricos y prácticos vitales durante el procedimiento.

Respecto a la satisfacción de los usuarios que interactuaron con la interfaz, es posible decir que la mayoría obtuvo un puntaje por encima de 70 en la escala SUS, lo cual indica que la interfaz ALI, es Aceptable en términos de usabilidad. Sin embargo, se observa que en el Grupo 2, médicos en entrenamiento, 4 de los 10 participantes calificaron la interfaz con una puntuación menor a 70, esto indica que aún se debe trabajar en mejorar la experiencia del usuario, recopilando los diferentes elementos y actividades.

En cuanto al nivel de fidelidad de la interfaz respecto al entorno real, se logró un nivel Medio-Alto, resultado bastante favorable para un prototipo de mediana fidelidad. Sin embargo, hay interacciones en las que se pueden trabajar para que el proceso de entrenamiento sea aún más fluido y preciso.

En general, los resultados obtenidos de la herramienta fueron positivos, es usable, eficiente y eficaz, además se muestra que su uso puede mejorar la retención de conceptos teóricos que son vitales para el entrenamiento, ayudando a los participantes a tomar decisiones apropiadas para cada paciente. Así mismo, se obtuvieron excelentes comentarios por parte del personal de salud.

7. Conclusiones

La interfaz ALI logra cumplir con los objetivos planteados en el proyecto en términos de eficacia, eficiencia y satisfacción, así como también, cumple con los requerimientos del proyecto en cuanto a los objetivos de aprendizaje y nivel de fidelidad.

Se considera valioso proponer futuras líneas de desarrollo, lo cual implica que, aunque se obtuvieron resultados satisfactorios y se cumplieron las expectativas iniciales, la interfaz de realidad virtual ALI lograda en este proyecto es susceptible de mejorar. En primer lugar, se considera pertinente continuar desarrollando posibles escenarios de práctica para los participantes, pues actualmente la interfaz solo cuenta con el escenario ideal del procedimiento de Canulación, no cuenta con simulaciones de ninguna de las complicaciones, tampoco cuenta con diferentes tipos de paciente; ampliar el desarrollo de estos niveles y escenarios fortalecería el entrenamiento médico en Terapia ECMO (Oxigenación por Membrana Extracorpórea) ofrecido por la Fundación Cardiovascular. Por otro lado, también se deja abierta la posibilidad de trabajar en un sistema de puntuación más complejo, que valore cada una de las actividades teniendo en cuenta la toma de decisiones según el procedimiento, así como del sistema de corrección o guía, que provea al participante de indicaciones mucho más precisas.

Finalmente, es importante destacar los resultados obtenidos a través de un proceso multidisciplinar para el desarrollo de esta herramienta de apoyo al entrenamiento médico, alentando así a futuras investigaciones en la contribución a la formación médica apoyada en la realidad virtual.

8. Bibliografía

- Blair-Early, A., & Zender, M. (2008). User Interface Design Principles for Interaction Design on JSTOR. Vol. 24, No. 3, Interaction Design Research in Human-Computer Interaction (Summer, 2008), Pp. 85-107 (23 Pages). <https://www.jstor.org/stable/25224185>
- Burton, K. S., Pendergrass, T. L., Byczkowski, T. L., Taylor, R. G., Moyer, M. R., Falcone, R. A., & Geis, G. L. (2011). Impact of simulation-based extracorporeal membrane oxygenation training in the simulation laboratory and clinical environment. *Simulation in Healthcare*, 6(5), 284–291. doi: 10.1097/SIH.0b013e31821dfcea
- Cárdenas López, G., Sánchez, B., & Castillo, E. (2016). Desarrollo y evaluación de simuladores virtuales para la enseñanza de competencias en el campo de la salud. *Assensus*, 1(1), 59–73. <https://doi.org/10.21897/assensus.1284>
- Carroll, J. M. (1998). Making Use: Scenarios and Scenario-Based Design. *Design*, 1998–1998.
- Christou, C. (2010). Virtual Reality in Education. *Affective, Interactive and Cognitive Methods for E-Learning Design: Creating an Optimal Education Experience*, 228–243. doi: 10.4018/978-1-60566-940-3.CH012
- Clark RE, Feldon DF, van Merriënboer JJG, Yates KA, Early S. (2008). Cognitive task analysis. In: Spector JM, Merrill MD, van MerriënboerJJG, Driscoll MP, editors. *Handbook of research on educational communications and technology*. London, UK: Taylor and FrancisGroup. pp 577–593.

Coro-Montanet Gleyvis, Bartolomé-Villar Begoña, Garcia-Hoyos Felisa, Sánchez-Ituarte Julia, Torres-Moreta Luz, Méndez-Zunino Mercedes, Morales-Morillo Mercedes, P.-M. M. J. (2020). Indicadores para medir fidelidad en escenarios simulados. Universidad Europea-Villaviciosa de Odón, Madrid, España., 9.

Díaz, R., Fajardo, C., & Rufs, J. (2017). Historia del ECMO (oxigenación por membrana extracorpórea o soporte vital extracorpóreo). *Revista Médica Clínica Las Condes*, 28(5), 796-802. doi: 10.1016/j.rmclc.2017.10.004

Faulk, S. R. (2001). Product-Line Requirements Specification (PRS): An approach and case study. *Proceedings of the IEEE International Conference on Requirements Engineering*, 48–55.

Frerejean, J., van Merriënboer, J. J. G., Kirschner, P. A., Roex, A., Aertgeerts, B., & Marcellis, M. (2019). Designing instruction for complex learning: 4C/ID in higher education. *European Journal of Education*, 54(4), 513–524.

Fundación Cardiovascular FCV. (2019). Curso de Especialistas en ECMO .pdf (p. 6).

García Toribio, G., Polvo Saldaña, Y., Hernández Mora, J. J., Sánchez Hernández, M. J., Nava Bautista, H., Collazos Ordóñez, C. A., & Hurtado Alegría, J. A. (2019). Medición de la usabilidad del diseño de interfaz de usuario con el método de evaluación heurística: dos casos de estudio. *Revista Colombiana de Computación*, 20(1), 23–40. <https://doi.org/10.29375/25392115.3605>

Georg, W., Bruno, R. R., Reiter, M., Kantzow, B., Kelm, M., & Jung, C. (2020). Virtual reality device training for extracorporeal membrane oxygenation | Enhanced Reader. Division of

Cardiology, Pulmonology and Vascular Medicine, Department of Internal Medicine, Medical Faculty, Heinrich-Heine University. doi:10.1186/s13054-020-03095-y

Giro, R., Pincioli, F., & Simón, L. 9944. (2017). Educación en línea utilizando simuladores de realidad virtual. 1, 39–51.

Gisbert, J. P., & Bonfill, X. (2004). ¿Cómo realizar, evaluar y utilizar revisiones sistemáticas y metaanálisis?. *Gastroenterología y Hepatología*, 27(3), 129–149. doi: 10.1157/13058397

Helsel, S. (1992). Virtual Reality and Education. *Educational Technology*, 32(5), 38–42. <http://www.jstor.org/stable/44425644>

Institute of Electrical and Electronics Engineers. (2008). Especificación de Requisitos según el estándar de IEEE 830. Especificación de Requisitos Según El Estándar de IEEE 830, 27.

Kano, N., Seraku, N., Takahashi, F. and Tsjui, S. (1984). Attractive quality and must-be quality. *Hinshitsu* 14(2), 147–156.

Kiran, S., Giles, P., Jenelle, B., Udo, B., Heidi, J., Lovkesh, A., Bishoy, Z., Lakshmi, R., Kollengode, R., Joanne, S., Bind, A., K. S. (2013). Documento de Orientación: ECMO para Pacientes con COVID-19 con insuficiencia Cardiopulmonar Severa. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.

Li, L., Yu, F., Shi, D., Shi, J., Tian, Z., Yang, J., Wang, X., & Jiang, Q. (2017). Application of virtual reality technology in clinical medicine. In *Am J Transl Res* (Vol. 9, Issue 9). www.ajtr.org/ISSN:1943-8141/AJTR0055713

Mankins, J. C. (1995). TECHNOLOGY READINESS LEVELS. Office of Space Access and Technology NASA.

Martin, G., Schatz, S., Bowers, C., Hughes, C. E., Fowlkes, J., and Nicholson, D. (2009). “Automatic Scenario Generation Through Procedural Modeling for Scenario-Based Training”, in Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting (Los Angeles, CA: SAGE Publications Sage), 1949–1953. doi: 10.1177/154193120905302615

Mori, G., Paternò, F., & Santoro, C. (2002). CTTE: Support for developing and analyzing task models for interactive system design. *IEEE Transactions on Software Engineering*, 28(8), 797–813.

Norman, D. A., & Shallice, T. (1986). Attention to action: Willed and automatic control of behavior BT - Consciousness and Self-Regulation. *Consciousness and Self-Regulation*, 4, 1–18.

Ochoa Parra, M. (2017). Historia y evolución de la medicina crítica: de los cuidados intensivos a la terapia intensiva y cuidados críticos. *Acta Colombiana de Cuidado Intensivo*, 17(4), 258–268. doi: 10.1016/j.acci.2017.08.006

Rangel, C. E. O. (2011). Augmented reality in medicine. In *Revista Colombiana de Cardiología* (Vol. 18, Issue 1, pp. 4–7). Sociedad Colombiana de Cardiología y Cirugía Cardiovascular. doi: 10.1016/s0120-5633(11)70160-7

Seymour, N. E., Gallagher, A. G., Roman, S. A., O’Brien, M. K., Bansal, V. K., Andersen, D. K., & Satava, R. M. (2002). Virtual Reality Training Improves Operating Room Performance.

Results of a Randomized, Double-Blinded Study. 236(4), 458–464. doi:
10.1097/00000658-200210000-00008

Tjiam, I. M., Schout, B. M. A., Hendriks, A. J. M., Scherpbier, A. J. J. M., Witjes, J. A., & Van Merriënboer, J. J. G. (2012). Designing simulator-based training: An approach integrating cognitive task analysis and four-component instructional design. *Medical Teacher*, 34(10).

Torregrosa, S., Paz Fuset, M., Castelló, A., Mata, D., Heredia, T., & Bel, A. et al. (2009). Oxigenación de membrana extracorpórea para soporte cardíaco o respiratorio en adultos. *Cirugía Cardiovascular*, 16(2), 163-177.

Van Merriënboer JJG, Kirschner PA. (2007). Ten steps to complex learning: A systematic approach to four-component instructional design. London, UK: Taylor & Francis.

Vaughan, N., Dubey, V., Wainwright, T., & Middleton, R. (2016). A review of virtual reality based training simulators for orthopaedic surgery. *Medical Engineering & Physics*, 38(2), 59-71. doi: 10.1016/j.medengphy.2015.11.021

Vázquez G, Guillamet A, Chaves J. (2008). La simulación como herramienta de aprendizaje.1, 5-12

Vázquez-Mata, G., & Guillamet-Lloveras, A. (2009). El entrenamiento basado en la simulación como innovación imprescindible en la formación médica. *Educación Médica*, 12(3), 149–155. doi: 10.4321/s1575-18132009000400004

Wolf, J., Wolfer, V., Halbe, M., Maisano, F., Lohmeyer, Q., & Meboldt, M. (2021). Comparing the effectiveness of augmented reality-based and conventional instructions during single

Realidad virtual para el entrenamiento de la terapia ECMO (Oxigenación por Membrana Extracorpórea). 101

ECMO cannulation training. *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 16(7), 1171–1180. doi: 10.1007/s11548-021-02408-y

Xie, B., Liu, H., Alghofaili, R., Zhang, Y., Jiang, Y., Lobo, F. D., Li, C., Li, W., Huang, H., Akdere, M., Mousas, C., & Yu, L.-F. (2021). A Review on Virtual Reality Skill Training Applications. *Frontiers in Virtual Reality*, 2(April), 1–19.