

Interfaz de usuario en Realidad Aumentada para el entrenamiento de estudiantes en el laboratorio de simulación de la facultad de salud (UIS) en procedimientos de examen rectal de próstata

Hiller Andrés Lozano Rodríguez y Hernando Andrés Espinel Buitrago

Trabajo de grado para optar por el título de diseñadores industriales

Director

Luis Eduardo Bautista Rojas

Magister en ingeniería de sistemas e informática

Codirectora

Lola Xiomara Bautista Rozo

Doctorado en tratamiento digital de señales e imágenes

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías Físico Mecánicas

Escuela de Diseño Industrial

Bucaramanga

2022

Dedicatoria

Hiller Andrés Lozano:

A mi madrina y abuela Eva Pedraza por darme su apoyo incondicional en mi vida y carrera universitaria. A mi padre, madre y hermana por apoyarme durante este camino, alentándome de seguir adelante. A mis amigos de carrera especialmente a Juliana Del Pilar Marín y Juan David Riaño por su compañía y apoyo desde el principio de carrera. A Dios por mostrarme el camino que debía seguir, darme las habilidades, conocimiento y diligencia para llegar a este punto en mi vida.

Hernando Andres Espinel:

A mis padres Hernando Espinel y Alba Luz Buitrago, por su cariño y apoyo incondicional durante toda mi formación, a mis Tíos Bernardo Espinel y Rosalina Martínez por creer en mí y darme esa mano que me sostuvo durante este proceso, a mi hermana Mónica por estar siempre constante y alentándome en todo este camino y mi sobrino Emmanuel para que crea en sus sueños y luche por seguir los pasos correctos.

Agradecimientos

Hiller Andrés Lozano:

A la Universidad Industrial de Santander por darme los espacios, herramientas para desarrollarme como profesional y persona. A los profesores Luis Eduardo Bautista, Lola Xiomara Bautista y Carlos Vecino por darme la oportunidad de estudiar en Kansas City como desarrollador en realidad virtual y aumentada, una experiencia que cambió mi vida. A los médicos que hicieron parte de este proyecto de grado, su diligencia en interés por este fue esencial para culminarlo.

Hernando Andres Espinel:

Universidad Industrial de Santander por abrir sus puertas y permitirme acceder a una formación integral y hoy permitirme ser un profesional, a los docentes Luis Eduardo Bautista y Lola Xiomara Bautista por compartir conmigo todo su conocimiento y guiarme en este camino, a mi familia, amigos y cada una de las personas que de alguna manera hicieron parte de este proceso.

Tabla de Contenido

Introducción	12
1. Identificación del problema	13
2. Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos	15
3. Marco teórico	16
3.1 Caso de estudio	16
3.2 Análisis cognitivo de tareas como metodología y diseño instruccional	18
3.3 Realidad virtual y realidad Aumentada	19
3.5 Interfaz de usuario	19
3.5 simuladores de examen de rectal de próstata	20
3.5.1 Sistema de realidad aumentada para entrenamiento y evaluación de tacto rectal digital	20
3.5.2 Otras aplicaciones de Realidad aumentada en el campo de la medicina	23
4. Metodología	25
5. Desarrollo de proyecto	28
5.1 Fase 1	28
5.1.1 Análisis de elementos de realidad aumentada y principios de carga cognitiva	29
5.1.2 Entrevista con expertos	30
5.1.3 Usuario arquetipo	32
5.1.4 Mapa de empatía	33
5.1.5 Matriz de motivaciones	34
5.1.6 Lista de deseos	35
5.2 Fase 2	35
5.2.1 Requerimientos de la interfaz	36
5.2.2 Diagrama del procedimiento	37
5.2.3 Análisis de tarea	39
5.2.4 Diagrama CTT	40
5.2.5 Escenario	42
5.2.6 Diagrama de flujo	43
5.2.7 Plataformas de desarrollo	48
5.2.8 Prototipado de baja fidelidad	49
5.2.8.1 Interfaz blanco y negro.	49
5.2.8.2 Interfaz a color y funciones básicas.	51
5.2.8.3 Interfaz con alternativas de funcionamiento de 3 o 5 botones.	53

5.2.8.4 Diseño de hardware.	57
5.2.8.4.1 Armazón del prototipo.	57
5.2.8.4.2 Teclado.	59
5.2.8.4.3 Próstatas físicas.	60
5.2.9 Evaluación con usuarios	63
5.2.9.1 Resultados.	65
5.2.10 Prototipo funcional	66
5.2.10.1 Desarrollo en Unity.	66
5.2.10.2 Código para leer las próstatas.	67
5.3 Fase 3.	68
5.3.1. Participantes	69
5.3.2 Entorno	69
5.3.3 Protocolo	71
5.3.3.1 Variables.	72
5.3.3.2 Desarrollo prueba.	73
5.3.3 Resultados	74
6. Conclusiones	82
7. Recomendaciones y trabajo futuro	84
Referencias bibliográficas	85

Lista de Tablas

Tabla 1. Descripción de actividades Fase 1	25
Tabla 2. Descripción de actividades Fase 2	25
Tabla 3. Descripción de actividades Fase 3	26
Tabla 4. Usuario arquetipo	33
Tabla 5. Mapa de empatía	34
Tabla 6. Requerimiento de la interfaz	36
Tabla 7. Diagrama CTT	41
Tabla 8. Plataformas de desarrollo	48
Tabla 9. Variables independientes, dependientes y unidad experimental	72
Tabla 10. Toma de datos por tarea y calificación	78

Lista de Figuras

Figura 1. Simulador multipropósito para el cuidado masculino	14
Figura 2. Ilustración de anatomía de próstata	16
Figura 3. Tabla de parámetros y enfermedades para diagnóstico de próstata	17
Figura 4. Modelo de sobremesa estándar utilizado por las escuelas de medicina	21
Figura 5. Microsoft HoloLens, dispositivo de realidad mixta	21
Figura 6. Sensor de posicionamiento magnético Trackstar conectado al dedo examinador	22
Figura 7. Sensor de presión figerTIPS	22
Figura 8. Simulador realidad aumentada para detectar tumores en el hígado	23
Figura 9. Modelo de corazón en realidad aumentada	24
Figura 10. Descripción resultados Fase 1	27
Figura 11. Captura de la entrevista con el urólogo Cesar Gonzales	30
Figura 12. Captura entrevista con el urólogo Juan Pablo Rojas	31
Figura 13. Actividades fase 2	34
Figura 14. Diagrama de procedimiento	37
Figura 15. Diagrama CTT	40
Figura 16. Diagrama de flujo parte A	42
Figura 17. Diagrama de flujo parte B	44
Figura 18. Diagrama de flujo parte C	45
Figura 19. Diagrama de flujo parte D	46
Figura 20. Flujo de interfaz blanco y negro	49
Figura 21. Diseño final imagen visual con paleta de colores	50
Figura 22. Flujo interfaz a color y funciones básicas	51
Figura 23. Pantalla a, b y c interfaz	53
Figura 24. Iconografía teclado físico 3 y 5 botones	54
Figura 25. Pantalla principal con sistema de 3 y 5 botones	55
Figura 26. Sketch del prototipo físico	57
Figura 27. Plano con medidas prototipo físico	58

Figura 28. Teclado físico	59
Figura 29. Modelado inicial próstata	60
Figura 30. Próstatas físicas impresas	61
Figura 31. Modelado molde próstata física	62
Figura 32. Impresión molde próstata física	63
Figura 33. Aplicación de la evaluación con usuario	64
Figura 34. Resúmenes resultados VisAWI	65
Figura 35. Código para próstatas impreso	67
Figura 36. Descripción de actividades fase 3	68
Figura 37. Simulador usado en la prueba de usabilidad	70
Figura 38. Imágenes de los simuladores usados en prueba de transferencia	71
Figura 39. Procedimiento prueba	73
Figura 40. Explicación de la prueba estudiantes de medicina	75
Figura 41. Prueba con los dos simuladores	76
Figura 42. Escala usabilidad (SUS) con resultado obtenido	77
Figura 43. Graficas de frecuencia	77
Figura 44. Desviación estándar	81
Figura 45. Gráfico de cajas y bigotes	81

Lista de Apéndices

Los apéndices están adjuntos y puede visualizarlos en la base de datos de la biblioteca UIS.

Apéndice A. Entrevista urólogo Cesar Gonzales

Apéndice B. Entrevista urólogo Juan Pablo Rojas

Apéndice C. Matriz de motivaciones

Apéndice D. Lista de deseos

Apéndice E. Análisis de tarea

Apéndice F. Diagrama CTT

Apéndice G. Escenario propuestos examen rectal de próstata

Apéndice I. Selección de alternativa.

Apéndice J. Protocolo estudio evaluación con usuarios

Apéndice K. Protocolo prueba experimental

Apéndice K. Propósito estudio prueba parte de transferencia

Apéndice L. Videos e imágenes test de transferencia

Resumen

Título: Interfaz de Usuario en Realidad Aumentada para el entrenamiento de estudiantes en el laboratorio de simulación de la facultad de salud (UIS) en procedimientos de examen rectal de próstata.^{1*}

Autores: Hiller Andrés Lozano Rodríguez y Hernando Andrés Espinel Buitrago^{2**}

Palabras Clave: Examen rectal de próstata, Realidad aumentada, Diseño de interfaz.

Descripción:

La realidad aumentada (RA) constituye una valiosa y útil tecnología a través de la cual podemos dar respuesta de manera eficaz a los nuevos estilos de aprendizaje requeridos por los alumnos, en especial en el sector de formación en las áreas de la salud. Aprender a realizar un examen rectal de próstata tiene un alto grado de dificultad tanto para el estudiante como para el docente que dicta la práctica, debido a las limitaciones sensoriales que tiene este tipo de examen en un escenario real. Teniendo en cuenta que el único sentido que se usa es el tacto, pero en la dinámica del aprendizaje influyen diferentes factores además del práctico, pues el factor teórico que se realiza para distinguir las partes necesarias para diagnosticar exitosamente también es de gran importancia.

La metodología proyectual planteada, junto con el análisis cognitivo de tareas y permitió abordar este problema. Esta consta de 5 etapas que pueden reducirse a 3: identificación de parámetros, diseño de ambiente virtual y evaluación comparativa

De esta manera, se propone diseñar una interfaz de usuario en realidad aumentada para el entrenamiento de estudiantes de salud en el tacto rectal de próstata, ubicándose en el Laboratorio de Simulación de la Facultad de Salud UIS. Como meta, se propuso mejorar el aprendizaje en el desarrollo de este examen, en comparación con el simulador tradicional, que en este momento tiene poco uso por parte de los estudiantes de medicina.

^{1*} Trabajo de Grado

^{2**} Universidad Industrial de Santander. Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas. Mg Ingeniería de Sistemas. Codirector: Lola Xiomara Bautista Roza. PhD. Procesamiento de Imágenes y Señales Digitales. Autores: Hiller Andrés Lozano y Hernando Andrés Espinel Buitrago. Estudiantes de Diseño Industrial.

Abstract

Title: User Interface in Augmented Reality for the training of students in the simulation laboratory of the Faculty of Health (UIS) in prostate rectal examination procedures. *

Author: Hiller Andrés Lozano Rodríguez y Hernando Andrés Espinel Buitrago^{3**}

Key words: Prostate rectal exam, Augmented reality, Interface design.

Description:

Augmented reality (AR) is a valuable and useful technology through which we can respond effectively to the new learning styles required by students, especially in the health training sector. Learning to perform a prostate rectal exam is highly difficult for both the student and the teacher who dictates the practice, due to the sensory limitations that this type of exam has in a real setting. Taking into account that the only sense that is used is touch, but different factors influence the learning dynamics in addition to the practical one, since the theoretical factor that is carried out to distinguish the necessary parts to diagnose successfully is also of great importance.

The proposed project methodology, together with the cognitive analysis of tasks, allowed us to address this problem. This consists of 5 stages that can be reduced to 3: identification of parameters, design of virtual environment and comparative evaluation.

In this way, it is proposed to design an augmented reality user interface for the training of health students in prostate digital rectal examination, located in the Simulation Laboratory of the UIS Health Faculty. As a goal, it was proposed to improve learning in the development of this exam, compared to the traditional simulator, which currently has little use by medical students.

* Bachelor Thesis

^{3**} Universidad Industrial de Santander. Diseño Industrial. Director: Luis Eduardo Bautista Rojas. Mg Ingeniería de Sistemas. Codirector: Lola Xiomara Bautista Roza. PhD. Procesamiento de Imágenes y Señales Digitales. Autores: Hiller Andrés Lozano and Hernando Andrés Espinel Buitrago. Estudiantes de Diseño Industrial.

Introducción

El examen rectal de próstata es un procedimiento que se realiza para detectar algún tipo de padecimiento en la próstata, por medio del tacto con el dedo índice a través del conducto anal. Uno de estos padecimientos es el cáncer de próstata, que en sus etapas iniciales no presenta síntomas. Es esencial su detección temprana para contrarrestarlo lo más pronto posible y el tacto rectal de próstata es la manera más efectiva para detectarlo debido a su practicidad, siendo esencial la capacidad del médico para distinguirlo de algún otro tipo de padecimiento (1, 2).

Por lo anterior, en el aprendizaje generado se han venido utilizando simuladores con el fin de representar una situación real, colocando a los estudiantes en contexto de la situación para evitar poner en riesgo la vida del paciente desarrollando sus capacidades por medio de estimulaciones sensoriales, favoreciendo el aprendizaje del estudiante (3). Este tipo de estimulaciones llevan a que el estudiante reciba cierta carga cognitiva y transforme la información percibida en memoria de largo plazo que sería utilizada cuando se quiera disponer de ella (4).

Al momento de enseñar se aplican nuevas tecnologías para mejorar el proceso de aprendizaje. La realidad aumentada es una herramienta que afecta positivamente el aprendizaje del estudiante de medicina por su percepción de disfrute y facilidad de uso (5).

Para resolver este problema se desarrolló una interfaz de una aplicación para apoyar la práctica del examen rectal de próstata, brindando información clara y precisa en tiempo real, basado en el diseño de experiencia de usuario (Ux) y teoría de carga cognitiva, facilitando la

aceptación tecnológica y el correcto proceso de aprendizaje del usuario comprobándolo por medio de una comparativa entre el simulador normal y el simulador con la interfaz propuesta.

1. Identificación del problema

Los profesionales de la salud no han sido formados adecuadamente para detectar el cáncer de próstata, ya que no existe para éstos una capacitación correcta por restricciones curriculares o de costos. Una causa de la falta de formación es el número limitado de pacientes para la realización de la práctica clínica, ya sea por problemas de intimidad, falta de confianza, coincidencia de género, entre otros motivos (6). Adicionalmente, el médico docente no puede evaluar la capacidad del estudiante para palpar la patología dentro del recto, por lo que los errores pueden no ser corregidos, del mismo modo, el estudiante no puede ver todas las técnicas y maniobras de palpación del instructor.

En un estudio realizado a los estudiantes en sus aptitudes en la ejecución del tacto rectal, Hennigan afirma que sólo el 31% de los estudiantes realizaban el examen de manera rutinaria. A partir de ello, sugirió que la formación en las escuelas de medicina influye en la confianza, la motivación y en la frecuencia con la que un profesional practica este tipo de exámenes (6).

En conclusión, el examen rectal tiene cierta dificultad para enseñarlo y practicarlo; además es de suma importancia que los estudiantes de medicina tengan más capacitación a este tipo de patologías, ya que tan solo en Colombia se calculan entre 6500 a 8000 casos nuevos al año y se posiciona como la segunda causa de mortalidad en la población masculina. (7) y (8) y (9).

Si bien es cierto que existen simuladores que buscan solucionar la problemática y que han disminuido los costos de este tipo de prácticas clínicas, estos siguen limitados por la falta de enfoque en el procedimiento, los costos elevados y la ausencia de visualización para

observar las técnicas y maniobras, tanto del profesorado como del estudiantado. Por ejemplo, los simuladores existentes y utilizados para las prácticas clínicas en instituciones como la Universidad Industrial de Santander son simuladores físicos multipropósitos que no permiten el entrenamiento adecuado del procedimiento, debido a la adaptabilidad que debe tener para las demás prácticas y aunque permiten realizar prácticas más accesibles, aún no conceden la enseñanza y la evaluación adecuadas (10).

Figura 1.

Simulador multipropósito para el cuidado masculino



Nota. Simulador físico que representa un torso masculino para la práctica de diversos exámenes. Tomado de Universidad Industrial de Santander (10).

1.1 Pregunta problema

¿En qué medida el uso de un simulador que integra realidad aumentada mejora el porcentaje de acierto de los estudiantes en el diagnóstico de un examen rectal de próstata a comparación del simulador tradicional?

2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Diseñar una interfaz de realidad aumentada que combine el componente teórico con el práctico del examen rectal de próstata para el aprendizaje de estudiantes de medicina de la UIS.

2.2 Objetivos específicos

Identificar los parámetros de una interfaz en realidad aumentada para el aprendizaje del estudiante de medicina en la práctica de examen rectal de próstata.

Diseñar un ambiente virtual para el aprendizaje del examen rectal de próstata con base en los principios de carga cognitiva en el diseño multimedia.

Evaluar comparativamente el porcentaje de acierto en el diagnóstico del examen rectal de próstata con el grupo de tratamiento (prototipo propuesto) comparado con el grupo de control (simulador tradicional).

3. Marco teórico

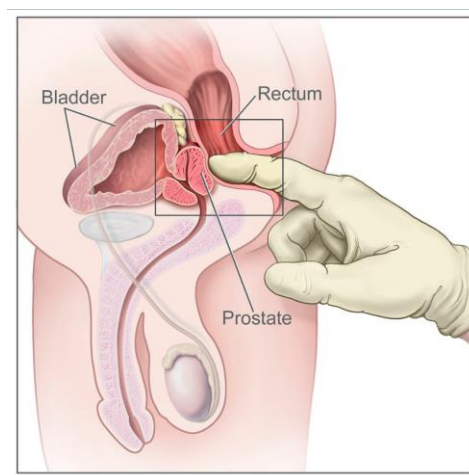
3.1 Caso de estudio

A través de los años se ha observado que el promedio de vida de los hombres es menor al de las mujeres, este resultado se da por causas relacionadas al cuidado de la salud y arroja que en promedio mueren 1 1/2 más hombres que mujeres por afecciones relacionadas al cáncer. Uno de los cánceres más mortales es el de próstata que genera alrededor de unas 2.416 muertes por cada 100.000 hombres. Una forma de evitar este tipo de muertes es por medio de un examen preventivo y un diagnóstico acertado antes que esta enfermedad no tenga como revertirse (11,12).

El examen de tacto rectal lo realiza el médico con el fin de palpar la próstata introduciendo el dedo por el recto para determinar algún tipo de abultamiento o área firme en la próstata que pueda ser cáncer, este tipo de método ayuda a indicar si el cáncer se encuentra en un lado o ambos lados de la próstata o si se ha propagado en tejido cercanos a éste (13).

Figura 2.

Ilustración de anatomía de próstata



Nota. Dibujo plano corte sagital, vista anatomía urinaria y reproductiva masculina incluyendo próstata, recto y vejiga; también muestra un guante con el dedo lubricado insertado en el recto para examinar la próstata. Tomado de national cancer insitute (12).

Los parámetros que necesita un médico para diagnosticar un cáncer o alguna enfermedad son el tamaño, surco medio y bordes, superficies, consistencia, sensibilidad y temperatura. Con esto identifica diferentes tipos de enfermedades como la hipertrofia prostática, cáncer de próstata, prostatitis aguda y prostatitis crónica. Cada una de estas enfermedades se distinguen por unos parámetros especiales como que la próstata presenta una hipertrofia prostática cuando el tamaño es más grande de lo normal y se borra el surco medio, el cáncer de próstata por una consistencia pétrea y una superficie normal o irregular, la prostatitis aguda presenta un cambio de temperatura caliente al resto del cuerpo y una sensibilidad muy dolorosa. En cambio, la prostatitis crónica presenta un tamaño pequeño en la próstata y una consistencia fibrótica (14).

Figura 3

Tabla de parámetros y enfermedades para diagnóstico de próstata.

Tacto rectal en la enfermedad prostática					
	NORMAL	HPB	CÁNCER DE PRÓSTATA	PROSTATITIS AGUDA	PROSTATITIS CRÓNICA
TAMAÑO	20 cc	Aumentado	Normal o aumentado	Normal o aumentado	Normal o pequeña
CONSISTENCIA	Elástica	Elástica	Pétrea	Blanda	Fibrótica
SURCO Y BORDES	Presente, regulares	Se borra el surco	Normal o alterados	Regulares	Regulares
SUPERFICIE	Lisa	Asimétrica, nodular	Normal o irregular	Lisa	Irregular, asimétrica
TEMPERATURA	Normal	Normal	Normal	Caliente	Normal o caliente
SENSIBILIDAD	Indolora	Indolora	Indolora	Muy dolorosa	Indolora o dolor leve

Nota: Comparativa de cada afección posible en la próstata con cada parámetro a identificar.
Tomado de Juanse Rodríguez MD (14).

3.2 Análisis cognitivo de tareas como metodología y diseño instruccional

Para el desarrollo de la interfaz se usó como apoyo el análisis cognitivo de tareas que se enfoca en el desarrollo de simuladores médicos para la adquisición de habilidades tanto psicomotrices como cognitivas, esto se realiza junto con la colaboración de expertos en el procedimiento médico y diseñadores para el desarrollo de este, siendo un método adecuado para obtener información cognitiva y procedimental de expertos, acompañado del modelo de diseño instruccional llegando ser un modelo útil para el desarrollo de simuladores (15).

El análisis cognitivo de tareas ayuda a determinar cómo los expertos realizan procedimientos complejos, determinando qué tareas se realizan de forma automática o no automática, esto ayuda a entender dónde los principiantes pueden cometer errores. Como los expertos realizan el procedimiento médico con gran frecuencia, muchas veces se les dificulta identificar el paso a paso debido a su gran fluidez y es en ese momento donde el diseñador interviene identificando, analizando y clasificando el paso a paso del proceso respecto a la información obtenida con los expertos. Después de realizar el paso a paso del proceso se hacen 2 tipos de clasificaciones, la primera como identificación de tareas principales y secundarias del proceso. La segunda es la identificación de tareas automáticas y no automáticas que realiza el experto.

Seguido a esto se implementó el diseño instruccional que ayuda a crear los escenarios donde va a desarrollarse el simulador, ayudando a la formación de tareas complejas que integren diferentes competencias. Estos pueden resumirse en 4 pasos: La creación de

escenarios, implementación de información de apoyo, implementación información justo a tiempo (JIT) y práctica de tareas parciales (15).

3.3 Realidad virtual y realidad Aumentada

XR viene del término *xtended reality* que en español vendría a ser realidad extendida, este término nace de la necesidad de abarcar los diferentes tipos de realidades que se han venido desarrollando con los avances tecnológicos y se distribuye en 3 categorías: realidad virtual, realidad aumentada y realidad mixta. (16).

La realidad virtual es "el uso del modelado y la simulación por computadora que permite a una persona interactuar con un entorno sensorial tridimensional (3D) artificial u otro entorno sensorial" (17).

La realidad aumentada es el conjunto de tecnologías que permite que el usuario visualice el mundo real con elementos virtuales añadidos a través de un dispositivo, como por ejemplo un *smartphone*, de esta manera los elementos físicos se combinan con elementos virtuales a través de una pantalla (18).

La realidad mixta es la mezcla de ambas realidades (aumentada y mixta), donde la inmersión es mucho más grande usando *headsets* como el *microsoft hololens* que funde el mundo real y el virtual en uno solo (19).

3.5 Interfaz de usuario

Una interfaz de usuario (UI) se refiere a un sistema y un usuario que interactúan entre sí a través de comandos o técnicas para operar el sistema, los datos de entrada y el uso de los contenidos. Interfaces de usuario van desde sistemas como computadoras, dispositivos móviles, juegos, etc. a programas de aplicación y uso de contenido (20).

La experiencia de usuario (UX) se refiere a la experiencia general relacionada con la percepción (emoción y pensamiento), reacción y comportamiento que un usuario siente y piensa a través de su uso directo o indirecto de un sistema, producto, contenido o servicio. UX es un concepto relacionado con HCI (interacción computador humano) que se aplica ampliamente no solo en desarrollo de software y hardware, sino también en servicios, productos, procesos, sociedad y cultura (21).

UI / UX es una interfaz a través del cual una persona puede interactuar con un sistema o aplicación en un entorno informático y de comunicación, que se clasifica en una interfaz de software y un hardware interfaz (22).

3.5 simuladores de examen de rectal de próstata

3.5.1 Sistema de realidad aumentada para entrenamiento y evaluación de tacto rectal digital

Este sistema de realidad aumentada fue desarrollado con el fin de aplicar nuevas tecnologías a los equipos de práctica de tacto rectal ya existentes para que los estudiantes puedan visualizar lo que están haciendo y así tener un aprendizaje más pertinente. Se desarrolló un sistema de realidad aumentada para ser utilizado con modelos de sobremesa comúnmente disponibles en las facultades de medicina con el objetivo de abordar el problema de la falta de visualización. El sistema permite la visualización del dedo examinador, así como de los órganos internos cuando se realizan exámenes rectales digitales. Los sensores de seguimiento magnético se utilizan para rastrear el movimiento del dedo y un sensor de presión se utiliza para controlar la presión aplicada. Al superponer un dedo virtual en el dedo real y un modelo virtual en el modelo de mesa, los estudiantes pueden ver a través del examen y las maniobras de los dedos (23).

En este proceso se usaron diferentes tipos de elementos como se ve en las siguientes figuras.

figura 4

Un modelo de torso masculino estándar utilizado en las escuelas de medicina



Nota: Un modelo de sobremesa estándar utilizado en las escuelas de medicina para enseñar y practicar el tacto rectal con varios tipos de próstata. Tomado de Rodríguez J (14).

figura 5

Microsoft HoloLens



Nota. Dispositivo de realidad aumentada montado en la cabeza para mostrar objetos virtuales en realidad mixta (20).

figura 6

Sensor de posicionamiento magnético Trackstar conectado al dedo examinador



Nota: Sensor magnético que permite identificar la posición del dedo con respecto a un punto en el espacio. Tomado de Joo H. (22).

figura 7

Sensor de presión FingerTIPS



Nota: Sensores de presión que miden la presión aplicada durante la palpación de la próstata Tomado de Joo H. (22).

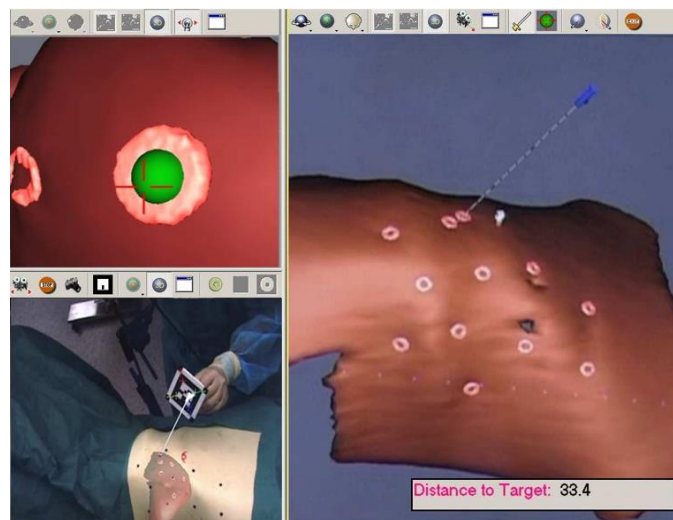
“El sistema mostró el movimiento de un dedo examinador en tiempo real con una velocidad de fotogramas de 60 fps en los HoloLens y alineó con precisión los modelos virtual y real con un error medio de 3,9 mm. Los usuarios encontraron que el movimiento del dedo era realista. Además, encontraron que la visualización del dedo y los órganos internos era útil para la enseñanza, el aprendizaje y la evaluación de los exámenes rectales digitales, principalmente dirigidos a un grupo de novatos” (24).

3.5.2 Otras aplicaciones de Realidad aumentada en el campo de la medicina

Actualmente se están utilizando elementos en realidad aumentada por medio de análisis de imágenes y de procedimientos quirúrgicos, como hallar tumores en el hígado (figura 8 y figura 9).

Figura 8

Simulador realidad aumentada para detectar tumores en el hígado

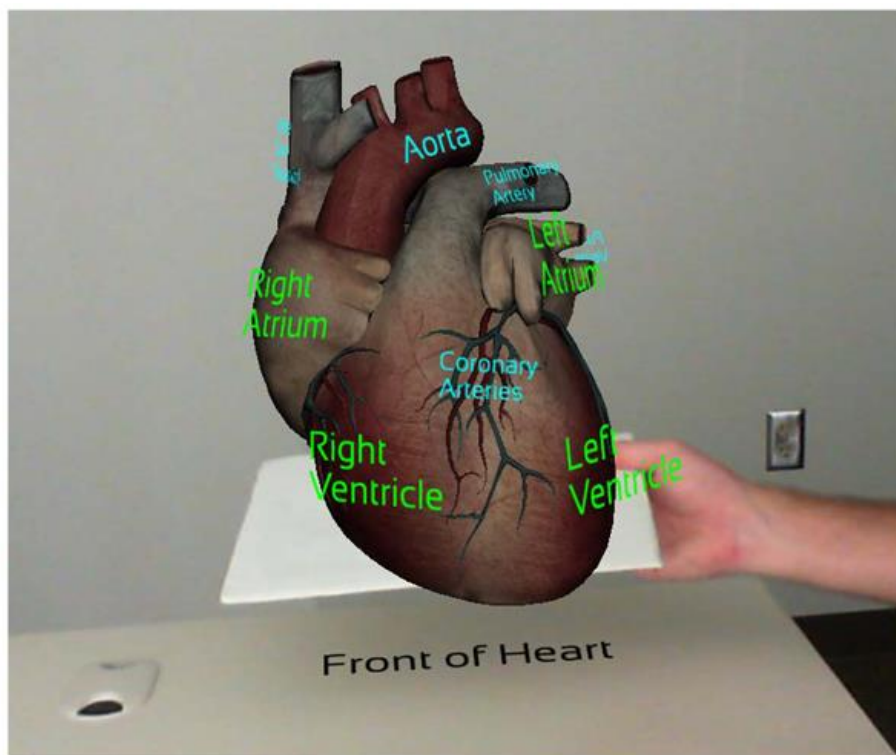


Nota. Vista de tres pantallas de interfaz grafica de simulador en realidad aumentada para detección de tumores en el hígado. Tomado de Nicolau S.A. (24).

En la parte del aprendizaje se está aplicando el uso de imágenes biomédicas para simulaciones en el entrenamiento anatómico y así identificar órganos, huesos, sistema nervioso en el cuerpo humano (figura 9).

Figura 9

Modelo de corazón en realidad aumentada.



Nota. Ejemplo de un modelo de corazón en realidad aumentada con todas sus partes indicadas. Tomado de Patzer B. (26).

4. Metodología

El trabajo se desarrolló basado en la metodología de diseño proyectual para diseño de interfaces y se designan actividades basado en el análisis cognitivo de tareas esta metodología se divide en 3 fases, cada una de ellas basada en un objetivo, con sus respectivas actividades y resultados como se puede ver a continuación.

Tabla 1

Descripción de actividades Fase 1

Fase 1. Identificación de parámetros		
Objetivo específico	Actividad	Entregables
Identificar los parámetros de una interfaz en realidad aumentada para el aprendizaje del estudiante de medicina en la práctica de examen rectal de próstata.	Definir los parámetros de una interfaz en realidad aumentada para el aprendizaje.	Informe de análisis de elementos de realidad aumentada y principios de carga cognitiva.
	Identificar aspectos claves en la práctica del examen rectal de próstata.	Entrevista con expertos.
	Creación de usuarios arquetipos.	Informe de usuarios arquetipos.
		Mapa de empatía.
	Identificar las necesidades, conocer los deseos y empatizar con el usuario.	Matriz de motivaciones.
		Lista de deseos.

Nota. Esta tabla describe las actividades de la fase 2 del proyecto con sus respectivo entregables.

Tabla 2

Descripción de actividades Fase 2

Fase 2. Diseño de ambiente virtual		
Objetivo específico	Actividad	Entregables
Diseñar un ambiente virtual para el aprendizaje del examen rectal de próstata con base en los principios de carga cognitiva en el diseño multimedia.	Definir requerimientos	Requerimientos de la interfaz
	Definir la arquitectura de la información.	Diagrama del procedimiento.
		Análisis de tareas.
		Diagrama CTT (tareas concurrentes).
	Elegir el software más conveniente para el desarrollo de la interfaz.	Tabla descripción de plataformas de desarrollo.
	Realizar prototipado.	Prototipo baja fidelidad
Validación con usuario.		
Prototipo funcional.		

Nota. Esta tabla describe las actividades de la fase 3 del proyecto con sus respectivos entregables.

Tabla 3

Descripción de actividades Fase 3

Fase 3. Evaluación experimental		
Objetivo específico	Actividades	Entregable
	Describir los participantes que son aptos para la prueba de validación	Descripción de participantes

Evaluar comparativamente el porcentaje de acierto en el diagnóstico del examen rectal de próstata con el grupo de tratamiento (prototipo propuesto) comparado con el grupo de control (simulador tradicional).	Definir la temporalidad, lugar, equipos que se van a usar en la prueba	Entorno de prueba
	Definir procedimiento de la prueba, variables independientes, dependientes.	Protocolo de validación.
	Presentar resultados por medio de gráficos de desviación estándar, grafico de cajas y bigotes, grafica de frecuencia y puntaje SUS.	Resultados

Nota. Esta tabla describe las actividades de la fase 3 del proyecto con sus respectivo entregables.

5. Desarrollo de proyecto

El proyecto se desarrolló según la planeación previa, cumpliendo una a una cada fase planteada en la metodología, utilizando todas las herramientas y recopilando la mayor cantidad de datos posibles. Además de realizar un análisis a cada etapa con el fin de obtener resultados asertivos que permitan el avance en cada una de las fases del proyecto.

5.1 Fase 1. Identificación de parámetros

Para iniciar el desarrollo de la interfaz en realidad aumentada del simulador de examen rectal de próstata se requirió una investigación previa y análisis de simuladores ya existentes, con el fin de identificar los elementos que permitan la efectividad del mismo, principalmente de sus interfaces y la interactividad con los usuarios. Seguido a esto, se inicia con la etapa de empatizar, a través de un primer acercamiento a los usuarios que permita la identificación de sus problemas, necesidades y deseos, dando el paso inicial al correcto desarrollo del proyecto.

Figura 10

Descripción resultado Fase 1



5.1.1 Análisis de elementos de realidad aumentada y principios de carga cognitiva

Según lo mencionado anteriormente en la metodología, se realizó una investigación previa para identificar los elementos existentes y de fácil acceso de la realidad aumentada en aplicaciones interactivas, realizando una búsqueda y análisis de cómo aplicar los principios de carga cognitiva en la interfaz.

Entre los ejemplos encontrados, está principalmente el desarrollo de un sistema de realidad aumentada en equipos de práctica de tacto rectal ya existente y el cual permite la visualización del dedo examinador, así como de los órganos internos cuando se realizan exámenes rectales digitales. Los elementos que podemos identificar en este sistema son los sensores de seguimiento magnético que se utilizan para rastrear el movimiento del dedo y un sensor de presión que permite controlar la presión aplicada. Al superponer un dedo virtual en el dedo real y un modelo virtual en el modelo de mesa, los estudiantes pueden ver a través del examen y las maniobras de los dedos (25).

Adicionalmente a esto, en la actualidad se utilizan elementos de realidad aumentada los cuales, por medio de análisis de imágenes y procedimientos quirúrgicos, permiten hallazgos como detección de tumores en el hígado. En lo académico, se está aplicando la retención de información al usar sistemas de realidad aumentada para identificación de partes de órganos con (26).

En cuanto a la teoría de la carga cognitiva, se explica cómo se almacena y gestiona la información y su uso para crear metodologías de aprendizaje capaces de transmitir los conocimientos de forma más efectiva. Esta teoría fue establecida por John Sweller el cual establece que la información pasa por 3 tipos de memorias: la memoria sensorial, memoria de trabajo y memoria de largo plazo, diferenciando a una persona novata de una persona experta que ya es capaz de organizar la información en estos esquemas (27). Esto será aplicado usando la metodología de análisis cognitivo de tareas y diseño instruccional, ya probado para el

desarrollo de simuladores en el campo de la medicina, gracias a la colaboración de expertos en urología por medio de entrevistas semi estructuradas se identificó los pasos del procedimiento proporcionando un diagrama del procedimiento, análisis tarea, diagrama concurrente de tareas, escenarios dependiendo de la dificultad del procedimiento y finalmente un diagrama de flujo del funcionamiento del simulador, permitiendo identificar cuando se suministra la información del procedimiento al usuario mientras está usando el simulador para finalmente aplicar una prueba para determinar si retiene información sobre el procedimiento y es capaz de replicarla en otros ambientes.

5.1.2 Entrevista con expertos

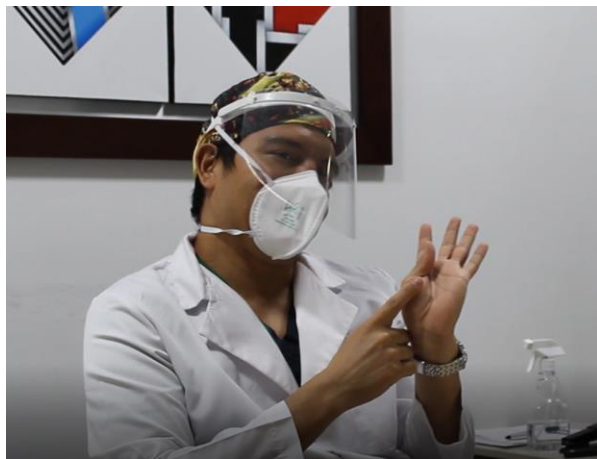
Inicialmente se realizó una reunión con los profesores Luis Eduardo Bautista, Lola Xiomara Bautista y la doctora Laura Valencia cirujana general en el laboratorio de simulación clínica de la UIS en el mes de diciembre del año 2020. Allí se propusieron las herramientas que se utilizaron en el proyecto tanto hardware como software, teniendo en cuenta los recursos disponibles para éste; Unity como software en el desarrollo de la interfaz y entorno 3D integrando tecnologías de realidad aumentada. Leap Motion como sensor infrarrojo para la lectura de los gestos de la mano controlando interfaces de forma milimétrica (28).

Ya con lo anterior se realizó la primera entrevista de forma presencial en el consultorio del Doctor Cesar Gonzales Urólogo cirujano (apéndice A), ubicado en la Uromédica de Bucaramanga en el mes de marzo del año 2021. En esta reunión el doctor explicó el procedimiento y principios del examen rectal de próstata y qué factores son importantes al realizarlo. Comenta desde su experiencia cómo se aprende y enseña el examen rectal de próstata y la importancia de desarrollar herramientas que permitan el correcto aprendizaje de los estudiantes. También se expuso el proyecto y comentó acerca de qué tipo de elementos debe tener el simulador, como lo son la preparación para realizar el examen, indicaciones al

paciente; elementos físicos que asemejen la anatomía humana, en este caso el recto para generar limitación en el dedo y la próstata; así mismo que el simulador le indique al estudiante examinar a cabalidad la próstata e identificar el ápex, los recesos, lóbulos, surco medio y textura de la misma, además si presenta texturas pétreas e indicaciones posprueba.

Figura 11

Captura de la entrevista con el urólogo Cesar Gonzales



La entrevista con el Doctor Juan Pablo Rojas, Urólogo Oncólogo, se realizó vía zoom en el mes de abril del año 2021 (apéndice B) y explicó cómo se realiza el procedimiento del examen rectal de próstata, indicando las pautas que se deben tener en cuenta para realizar el examen y que elementos investigar para obtener más información sobre el tema, como las pruebas de tamizaje para el cáncer de próstata, que ayudan a detectar enfermedades de forma temprana y cómo permiten llegar al diagnóstico por medio de los indicadores de sensibilidad, especificidad, valor predictivo positivo y valor predictivo negativo. Por último, recomendó realizar una investigación más detallada de los simuladores de examen rectal de próstata que se ofrecen actualmente.


Figura 12

Captura entrevista con el urólogo Juan Pablo Rojas

**5.1.3 Usuario arquetipo**

Con la primera reunión que se realizó en el laboratorio de simulación clínica se estableció a quiénes va dirigido el simulador y por ende la interfaz de examen rectal de próstata. En la tabla 4 se muestra el resultado del método *Usuario arquetipo* que permitió identificar características y comportamientos relevantes en el usuario objetivo, como por ejemplo, el momento que más interés tienen por usar simuladores es cuando están cursando sexto semestre de medicina, ya que en esta etapa inician sus prácticas en el laboratorio de simulación clínica y aplican su conocimiento teórico de la carrera en actividades prácticas, así dando paso al proceso de empatía de usuarios de la interfaz.

Tabla 4*Usuario arquetipo*


	Nombre: Rafael Sánchez
	Edad: 21
	Nivel educativo: Estudiante de pregrado
	Ocupación: Estudiante de 6to semestre
Biografía: Rafael es estudiante de medicina de la Universidad Industrial de Santander, actualmente cursa 6to semestre de la carrera. Como estudiante tiene aspiraciones de aprender la información de forma práctica y teórica para desarrollar adecuadamente sus conocimientos.	Objetivos: Poder practicar con usuarios o simuladores los conceptos básicos para desarrollarse como médico. Si utiliza un simulador quiere que le permita aprender satisfactoriamente y practicar sus conocimientos antes de enfrentar un paciente real.
Motivaciones: Graduarse como médico, con la satisfacción de manejar y tener claridad de todos los conocimientos que adquirió.	Frase: Quiero que el simulador se sienta natural, realista y me diga si lo estoy haciendo bien.
Frustraciones: No poder realizar pruebas con pacientes o un simulador para poder practicar.	

5.1.4 Mapa de empatía

Ya identificado el usuario del proyecto se realizó una encuesta a estudiantes de medicina de la UIS. Uno de los hallazgos más importantes de este proceso es que cuando cursan su carrera de medicina no tienen una interacción real con el simulador para examen rectal de próstata, por ende no tienen ningún acercamiento al proceso práctico del examen, generando así inseguridad al momento de enfrentar un examen con un paciente vivo, en la siguiente tabla se puede ver las preguntas que se le plantearon a los estudiantes brindando mayor comprensión del usuario y ser más consciente de sus necesidades.

Tabla 5

Mapa de empatía

<p>¿Con quién vamos a empatizar? Estudiantes de medicina aproximadamente sexto semestre a noveno semestre.</p> <p>¿Qué necesita hacer? Realizar más actividades en simuladores y prácticas en pacientes.</p>		
<p>¿Qué ven?</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso de simuladores se empieza después de sexto semestre en el laboratorio de simulación clínica de salud en la Uis • Se enseñan procedimientos médicos grupalmente con ayuda de un docente. 	<p>¿Qué dicen?</p> <ul style="list-style-type: none"> • El uso del simulador de tacto rectal de próstata es casi nulo, generalmente la primera práctica se hace con un paciente real. 	
<p>¿Qué oyen?</p> <ul style="list-style-type: none"> • En prácticas toca pedirle el favor a un médico que le deje hacer un examen rectal de próstata. • Algunos de los equipos de simulación son obsoletos. 	<p>¿Qué hacen?</p> <ul style="list-style-type: none"> • Realizan el primer tacto rectal en residencia. • Refuerzan conocimientos a través de texto y videos. 	
<p>Motivaciones</p>		
<p>Esfuerzos</p> <ul style="list-style-type: none"> • Estudiar y practicar procedimientos médicos para fortalecer su formación como profesional. • Consultar con distintas fuentes inquietudes sobre procedimientos médicos. 	<p>Resultados</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mejores resultados académicos. • Fortalece su confianza al momento de realizar procedimientos médicos. 	

5.1.5 Matriz de motivaciones

A Continuación, se estableció los participantes en el proceso de desarrollo de la interfaz del simulador, con base en esto se realizó la matriz de motivaciones (apéndice C) para determinar los roles que tiene cada participante, como son el estudiante, profesor, institución y

proveedor, donde la Universidad Industrial de Santander tiene doble participación como institución y proveedor.

5.1.6 Lista de deseos

Después de haber empatizado con el usuario con la matriz de motivaciones se realiza la lista de deseos (apéndice D) que permite identificar las necesidades y expectativas del usuario. Con este proceso se logra identificar propuestas de valor que guían el desarrollo de la interfaz; el principal hallazgo fue el deseo por parte de los usuarios que la interfaz les permita identificar las partes de la próstata al momento de utilizar el simulador en tiempo real y de esta manera lograr una mayor comprensión del proceso del examen rectal de próstata.

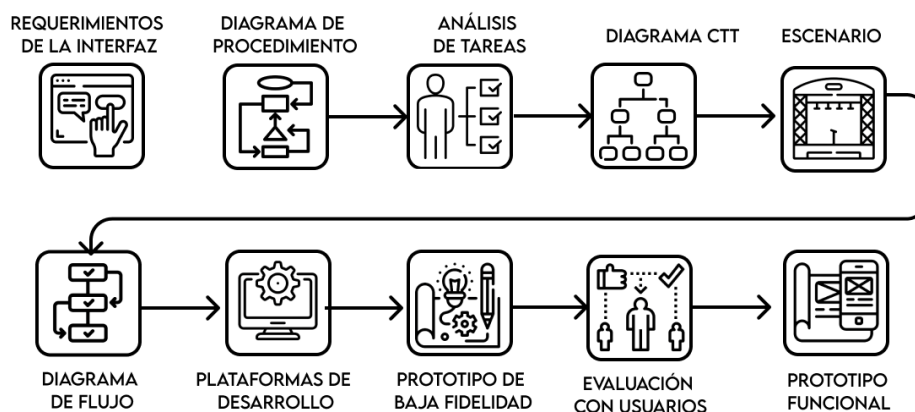
5.2 Fase 2. Diseño de ambiente virtual

El diseño del ambiente virtual de aprendizaje para el examen rectal de próstata se logró por medio del desarrollo de diferentes actividades, estas permitieron el diseño controlado de la interfaz. Se identificó qué información se debía transmitir y cómo debía transmitirla.

Por otro lado, el análisis cognitivo de tareas facilitó la transformación de la información suministrada por los urólogos en diagramas que permitieron el diseño de la interfaz y finalmente en el prototipo final.

Figura 13

Actividades fase 2



Nota. Esta figura muestra el flujo de las actividades desarrolladas en diseño de interfaz.

5.2.1 Requerimientos de la interfaz

Comenzando con la fase de diseño se estableció los requerimientos para el desarrollo de la interfaz de manera formal con su respectiva información de respaldo, esto permitió establecer parámetros estéticos, usabilidad, tamaño y material, como son el rango de distancia que debe haber entre la mano y el sensor Leap Motion que está entre los 20 y 40 centímetros para su correcta lectura, una pantalla de 22 pulgadas y resolución mínima de 1080x1920 píxeles para la correcta visualización de la interfaz, un diseño claro y familiar de los botones tanto físicos como virtuales, manteniendo la normas de diseño de interfaces y materiales que cumplan con las propiedades físicas establecidas, por ejemplo la base del simulador y las próstatas físicas no interfieran con la lectura del sensor Leap Motion. En la siguiente tabla se ve el resultado de los requerimientos de la interfaz.

Tabla 6

Requerimientos de la interfaz

No.	Categoría	Descripción	Unidad de medida	de Valor	de Test	
				de aceptación		
01	Estéticos	El correcto uso de las normas para el diseño UI/UX	Cumple/ Cumple	No	Cumple	Prueba heurística.
		Predominancia del lenguaje visual que el escrito.	Cumple/ Cumple	No	Cumple	Prueba heurística.
		Diseño simple y claro, con la cantidad de íconos e información necesaria.	Cumple/ Cumple	No	Cumple	Prueba heurística
02	Usabilidad	Correcta lectura de las manos por parte del sensor	Grado sexagesimal.		Entre 0 y 15 grados	Calibración del equipo.

		Elasticidad de la próstata física.	Escala de satisfacción de 1 a 5	Mayor a 3.5	Escala de Likert
		Permite la navegación por la interfaz.	Cumple/ No Cumple	Cumple	Prueba de verificación
		Que permita la visualización de la interfaz.	Tamaño de la pantalla en Pulgadas	Mínimo: 15 Máximo: 24	Prueba de verificación
		Que tenga buena resolución de pantalla.	Pixeles.	Mínima: 1080*1920 Máxima: 2160*3840	Prueba de verificación
03	Tamaño	que tenga el espacio suficiente para la navegación de la mano	Centímetros	Mínima: 30*30*30 Máxima: 50*50*50	Prueba de verificación
		Dimensiones de la próstata	Centímetros	Mínima: 1.5*1.5*1 Máxima:	Prueba de verificación
04	Material	Que resista los elementos que llevará el simulador	Cumple/NO Cumple	Cumple	Prueba de verificación
		Que permita la correcta lectura de los sensores	Cumple/No Cumple	Cumple	Prueba de verificación
		Que simule la consistencia de una próstata real.	Cumple/No cumple	Cumple	Prueba de verificación

Nota. Esta tabla muestra cada requerimiento con su respectiva unidad de medida para el desarrollo de la interfaz.

5.2.2 Diagrama del procedimiento

El análisis cognitivo de tareas es el método que se empleó como apoyo para crear la interfaz del simulador en realidad aumentada de un examen rectal de próstata. Este método permite analizar el procedimiento en sí, clasificarlo y determinar cómo va a desarrollarse el simulador.

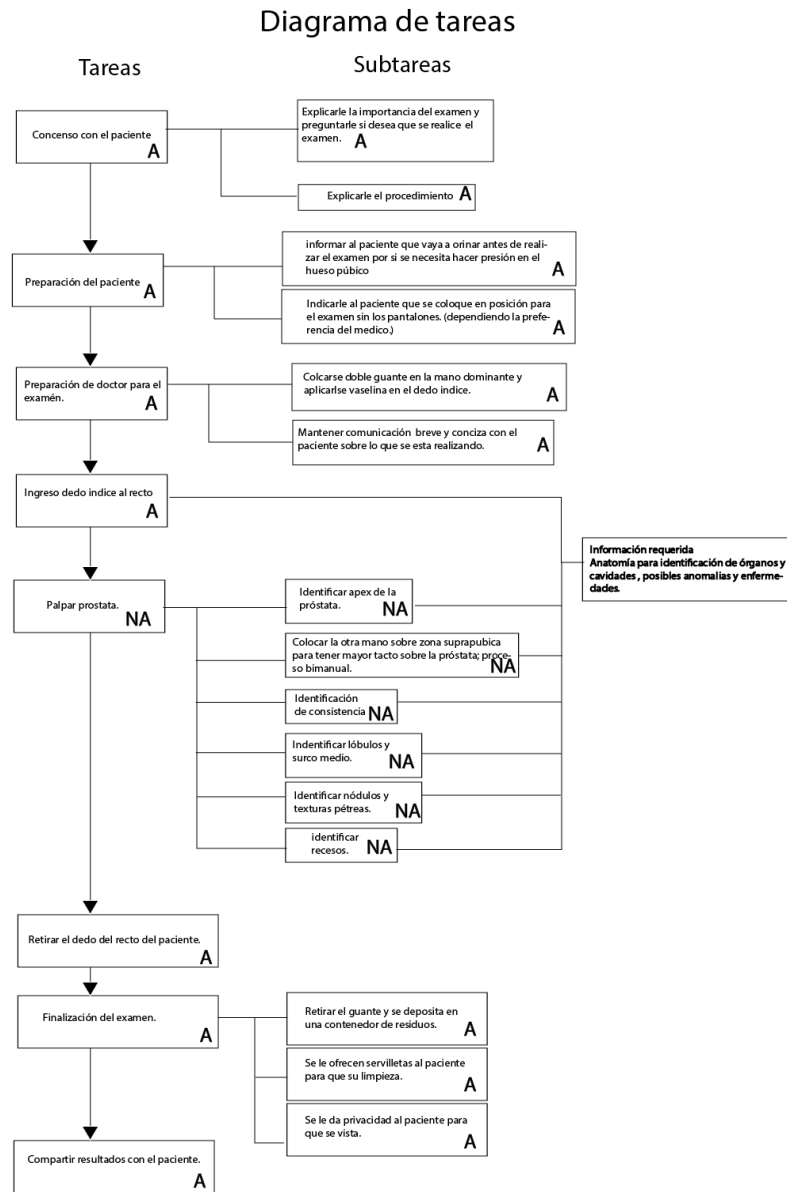
Con entrevistas semi estructuradas que se realizaron anteriormente con los expertos, se logra generar diagramas de flujo que dividen el procedimiento paso a paso.

El diagrama de tareas clasificó el procedimiento en tareas, subtareas, automáticas y no automáticas, siendo verificado por los doctores Cesar Gonzales y Juan Pablo Rojas mediante un pequeño cuestionario y revisión de diagrama.

En dicho diagrama de tareas (figura 14) se muestra la clasificación del paso a paso del examen rectal de próstata. Cada recuadro contiene una sigla, “A” o “N/A”, donde “A” significa que es una tarea automática y “N/A” una tarea no automática, con esto se puede interpretar que mientras se realiza el proceso, el médico tiene un nivel de atención dependiendo de la tarea o subtarea y con estas tareas/subtareas automáticas el médico no necesita gran atención para realizarla debido a su experticia; en cambio con las tareas/subtareas no automáticas a pesar de su experticia realizando este tipo de exámenes, el médico tiene que prestar gran atención a la tarea/subtarea que está realizando. En este diagrama se puede ver que son las tareas enfocadas al tacto de la próstata, donde el médico identifica inicialmente el ápex de la próstata, luego el surco medio, lóbulos, recesos y contextura.

Figura 14

Diagrama de procedimiento



5.2.3 Análisis de tarea

El análisis de tarea se realizó con el fin de facilitar el proceso de transformar la información del diagrama de procedimiento al diagrama CTT, interpretando el paso a paso del procedimiento y cómo se vería reflejado en un simulador, mostrando que va a hacer el usuario y como sería la respuesta del simulador. Con eso se clasificó el proceso en diferentes grupos y cómo debía mostrarse en el simulador, dando prioridad en todo el proceso al tacto de la próstata

en sí, por lo tanto, esa información debe ser mostrada en la actividad principal del simulador haciendo que el usuario mientras realiza el tacto físico de próstata se le suministre información anatómica y práctica de este procedimiento. (apéndice E)

5.2.4 Diagrama de tareas concurrentes CTT

Una vez realizadas las entrevistas con los doctores, se realizó un diagrama que se puede visualizar en la figura 15, en tamaño completo en el apéndice F o en este vínculo [diagrama CTT](#). En la tabla 7 especifica el paso a paso de cómo se realiza el examen rectal de próstata con su respectiva descripción, las tareas del usuario en el simulador y la respuesta que debe ser dada por el simulador.

En el diagrama de CTT, compara el proceso general que fue propuesto para la aplicación con respecto a la información obtenida y así determinar cómo es el proceso general de un examen general de próstata.

El procedimiento se divide en 4 subtareas que son, la preparación del paciente, preparación del examinador, procedimiento y finalización.

Para la primera subtask se propuso que en el menú aparezcan ciertos mensajes emergentes recordando al usuario del simulador que tenga en cuenta la preparación del paciente, incluyendo la posición en que debe ubicarse (ya sea posición decúbito supino o decúbito lateral) y explicación del procedimiento que le va a realizar.

En preparación del examinador se buscó que el usuario del simulador (el estudiante) se prepare para realizar el examen rectal de próstata, detallando paso a paso los pasos que debe seguir antes de la realización del procedimiento, en este caso el uso de los guantes quirúrgicos y la aplicación de la vaselina en el dedo facilitando la examinación.

En la etapa del procedimiento se indicó los pasos que se realizan a partir del momento en que el dedo ingresa al esfínter y empieza a palpar la próstata. Esta parte tiene 4 pasos que se realizan de forma simultánea donde el usuario tiene que identificar y analizar partes de la

próstata. Por último, en la fase de finalización se retira la mano del artefacto comparado con que el médico retire el dedo del recto del paciente.

Figura 15

Diagrama de Tareas concurrentes CTT

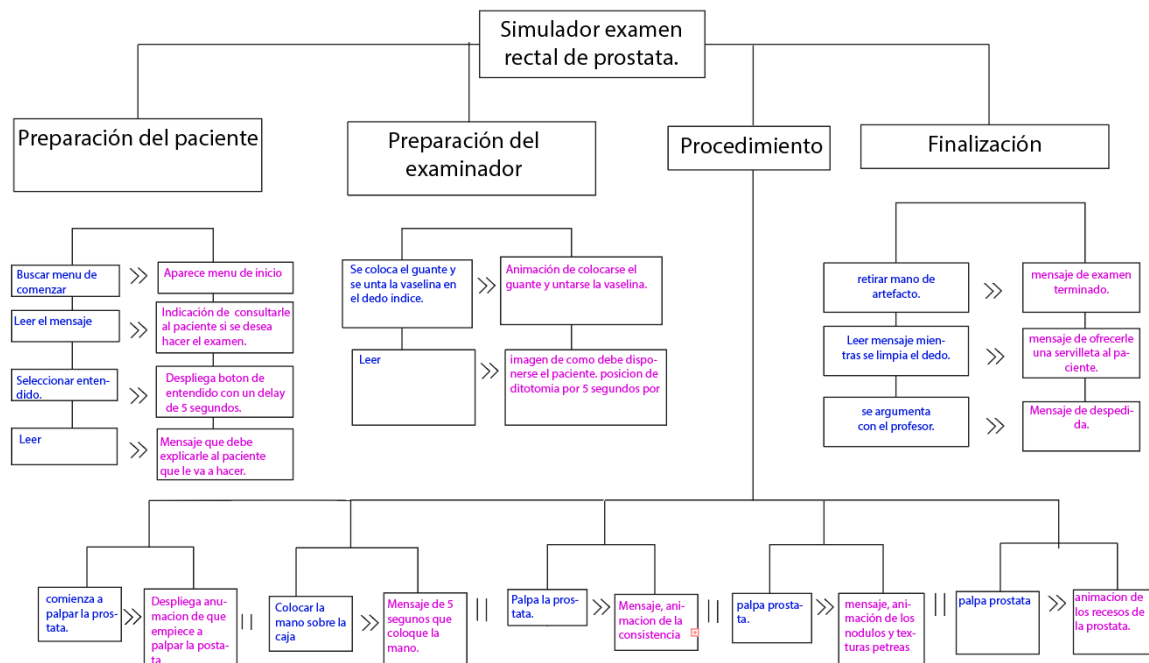


Tabla 7

Descripción del diagrama CTT

Diagrama CTT	
Preparación del paciente	Buscar menú de comenzar. Aparece el menú de inicio.
	Leer mensaje. Indicación de consultarle al paciente si se desea hacer el examen.
	Seleccionar entendido. Despliega el botón de encendido con un retraso de 5 segundos.

	Leer	Mensaje que debe explicarle al paciente el procedimiento.
Preparación del examinador	Colocarse el guante y aplicar la vaselina en el dedo índice.	Animación de la forma que coloca el guante y aplica la vaselina.
	Leer.	Imagen de cómo debe disponerse el paciente, posición de litotomía por 5 segundos.
Procedimiento	Ubicar la mano sobre la caja.	Mensaje de 5 segundos que indique que debe poner la mano sobre la caja.
	Palpar la próstata	Mensaje, animación de la consistencia de la próstata.
	Palpar la próstata	Mensaje, animación de los nódulos y texturas pétreas.
	Palpar la próstata	Animación de los recesos de la próstata.
Finalización	Retirar la mano del artefacto.	Mensaje de indicación que el examen ha terminado.
	Leer mensaje mientras limpia el dedo.	Mensaje de indicación para ofrecer una servilleta al paciente.
	Se argumenta con el profesor.	Mensaje de despedida.

Nota. *Esta tabla describe cada apartado del diagrama de tareas concurrentes CTT.*

5.2.5 Escenario

Después del diagrama, se plantean los escenarios del simulador que se pueden ver en el apéndice G, que consta de dos niveles de dificultad cada uno con dos escenarios distintos para dar un total de cuatro escenarios donde varían las próstatas que se van a usar, posición del paciente y restricciones en los movimientos de la mano. El desarrollo de estos escenarios permite identificar el tipo de información de se le debe presentar al usuario mientras realiza la

prueba y cómo calificarla, por esta razón se añadieron 3 procesos en la actividad principal de simulador, que son la información de soporte que presenta mientras el usuario realiza la actividad de tacto de próstata, se añade un cuestionario donde se puede evaluar lo aprendido por parte del usuario y finalmente una retroalimentación para que se mida el nivel de comprensión y aprendizaje.

5.2.6 Diagrama de flujo

Después de identificar y clasificar las tareas en el diagrama anterior se procede a realizar un diagrama de flujo que se muestra en 4 partes en las figuras 16,17,18,19 o apéndice H en tamaño completo, donde se representa gráficamente el proceso del simulador de examen rectal de próstata, mostrando que hay en este.

Dicho diagrama sirvió para saber qué procesos son necesarios y cómo va a ser su secuencia. El diagrama comienza con la presentación del simulador y calibración de este que es prácticamente un proceso lineal y fácil de orientarse.

En la siguiente parte que se puede observar un flujo complejo porque es el momento de que el usuario empieza a llegar a la parte donde se inicia a palpar la próstata, el usuario necesita navegar por la interfaz para obtener la información que solicita y eso lleva a que esté en una situación de tomas de decisiones dependiendo de su grado de conocimiento con respecto a lo que está tocando, como se evidenció anteriormente en las tareas que se clasificaron como no automáticas del diagrama de tareas.

Finalmente se realiza el proceso de cuestionario y retroalimentación, este no es un flujo lineal pero no es complejo, ya que depende de cómo el usuario responde a las preguntas del cuestionario, si responde correctamente recibirá una retroalimentación indicando que hizo bien y finaliza el proceso, en cambio si no responde bien el cuestionario se le solicita a que vuelva a palpar la próstata e indicando que hizo de forma incorrecta.

Figura 16

Diagrama de flujo parte A

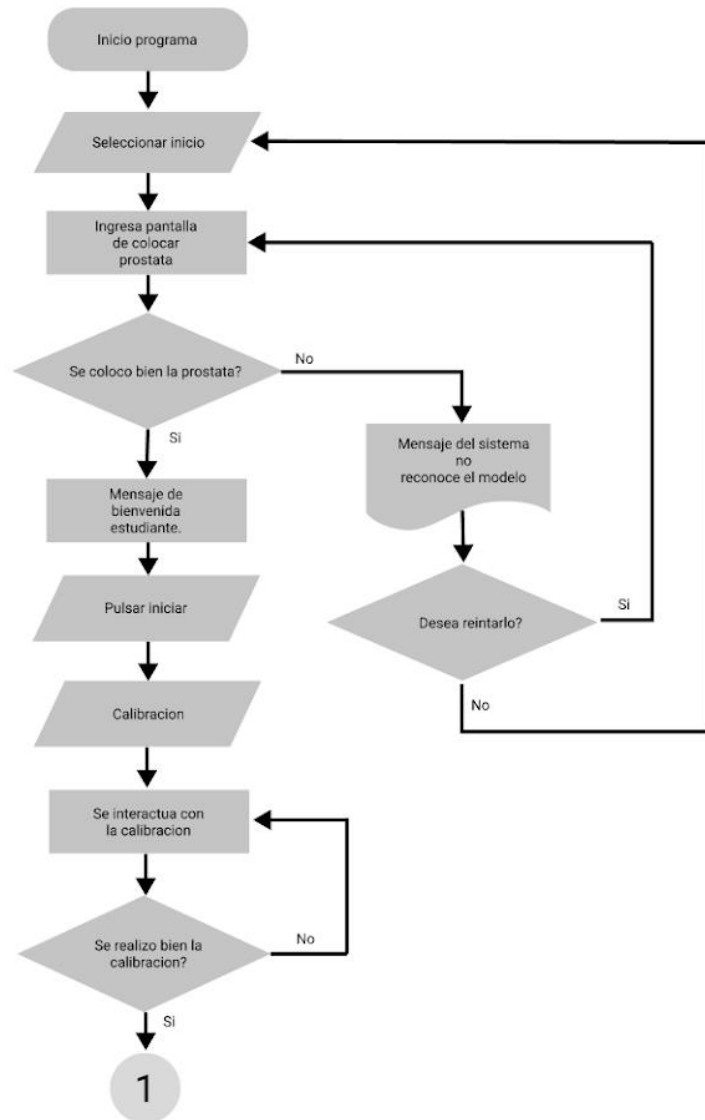


Figura 17

Diagrama de flujo parte B

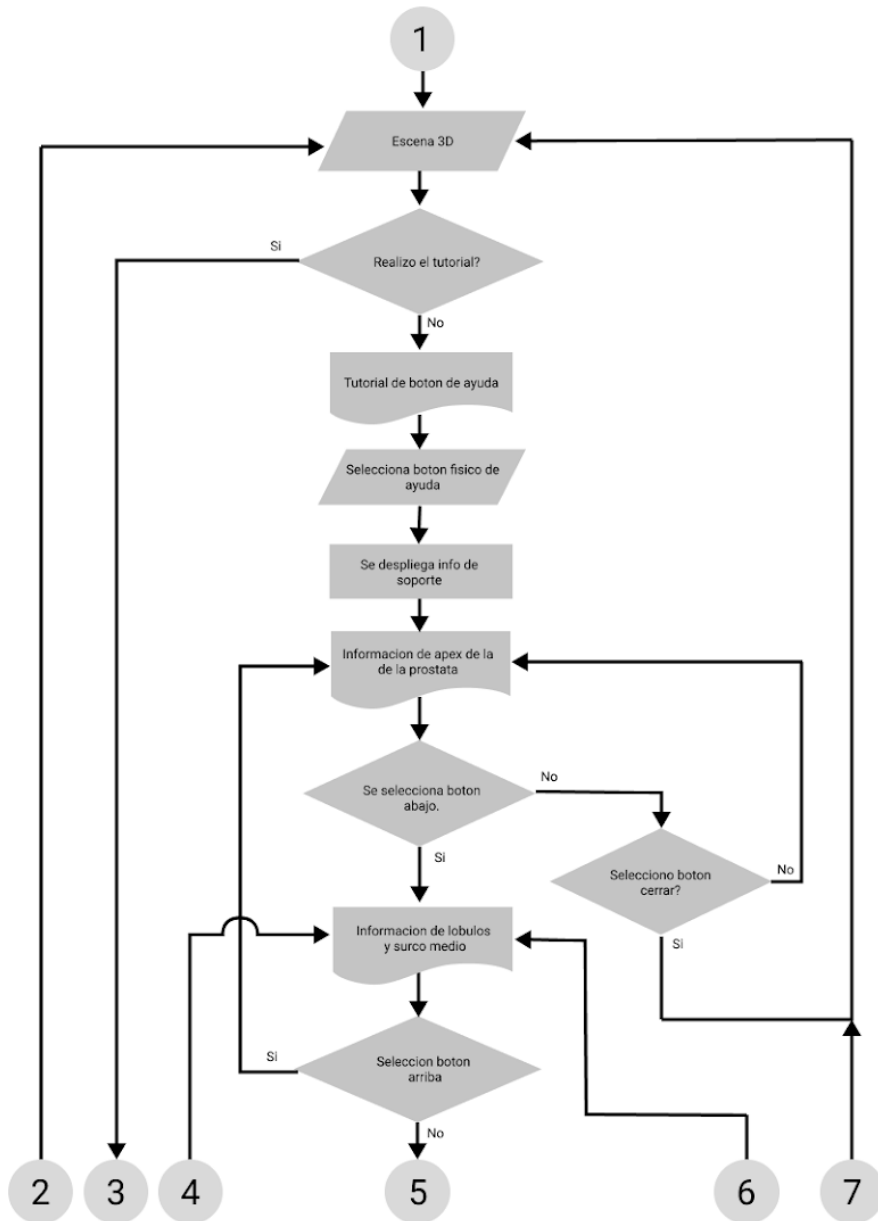
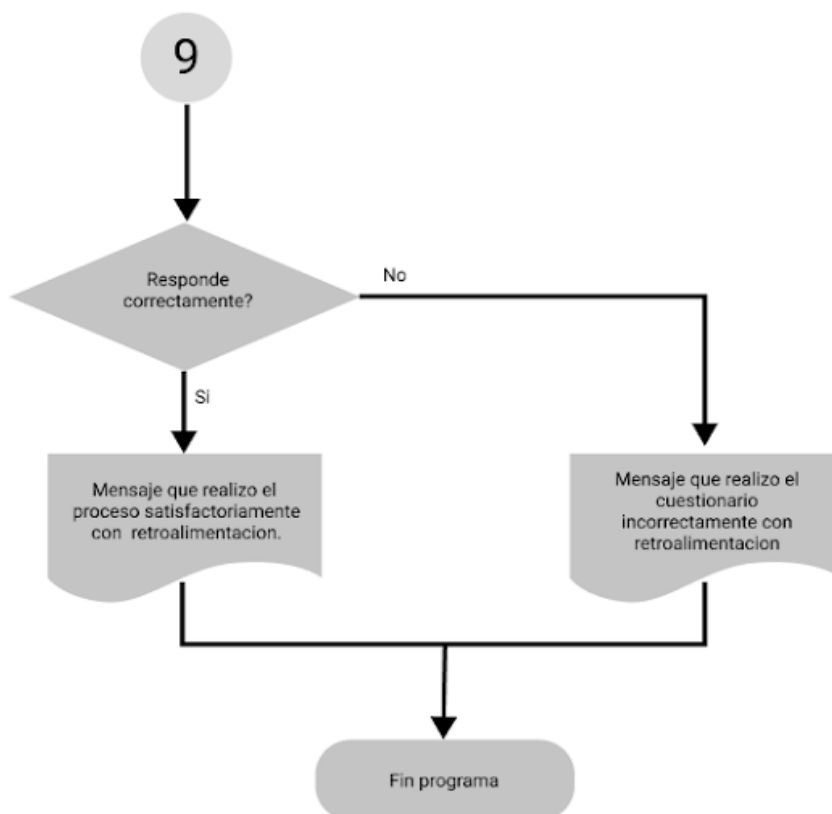



Figura 19*Diagrama de flujo parte D*

5.2.7 Plataformas de desarrollo

Ya establecido el flujo de la interfaz del simulador se indicó que softwares se usarán además de Unity, en la tabla 8 se indicó los softwares con su respectiva función y versión.

Tabla 8

Listado de software

Nombre software	Logo	Función
Versión. 2020.3.7		Una plataforma de desarrollo 3D que ofrece herramientas para crear y operar juegos (29), esta herramienta permite crear el entorno 3D y 2D del simulador.
Versión. Orion 4.1.0		Leap Motion Controller es un dispositivo para interfaces de usuario controladas por gestos manuales con una precisión submilimétrica declarada (30). Se usó para la interacción de la mano con la próstata y que se vea reflejada en la pantalla.
Rhino versión 5	 Rhino ceros	Es una herramienta de modelado 3D basado en NURBS (31), Este software permitió modelar el entorno 3D del simulador y modelos de las próstatas que se van a usar, tanto físicas como en el software de Unity.
Versión. 9.8.8		Herramienta innovadora para creación de herramientas en realidad aumentada, se usó como plug-in en UNITY ayudando a detectar imágenes con una cámara superponiendo elementos sobre estas imágenes (32), en el simulador se usó para identificar qué tipo de próstata se estaba usando y así dar la correcta retroalimentación.

Web		Es un editor de gráficos vectorial y una herramienta de generación de prototipos (33), se usó para realizar los prototipos de baja fidelidad de la interfaz y poder ser evaluados de forma rápida.
Versión 4.10		Es un software especializado para impresión 3D, convierte los modelos 3D en archivos de extensión Gcode para que puedan ser interpretados por la impresora 3D (34), se usó para el prototipado rápido de las próstatas físicas en la validación y pruebas con usuarios.

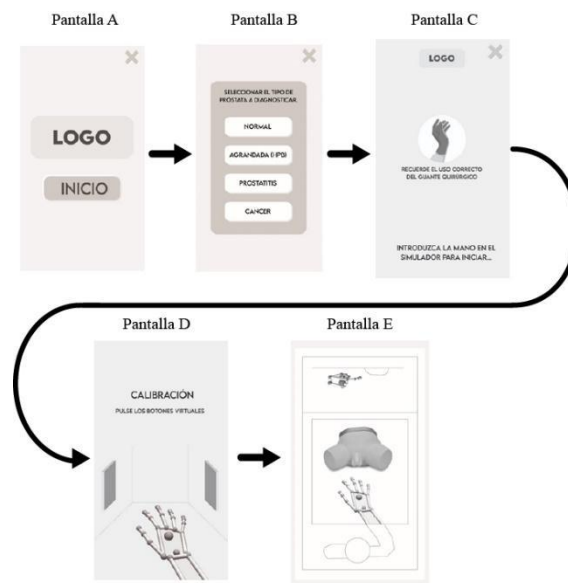
5.2.8 Prototipado de baja fidelidad

Con toda la información recopilada en los procesos anteriores se inició el prototipado del simulador que se divide en 3 elementos principales: prototipado de baja fidelidad, evaluación con usuarios y prototipo funcional.

En el prototipado de baja fidelidad se establece una serie de 4 etapas, en cada una de estas se realiza una reunión con el director de proyecto, codirector e ingeniero de sistemas dando una socialización de los resultados obtenidos para recibir observaciones y correcciones. Las etapas enfocadas en el desarrollo de la interfaz gráfica fueron identificadas como interfaz blanco y negro, interfaz a color y funciones básicas, interfaz con alternativas de funcionamiento de 3 o 5 botones y la última etapa como el diseño de hardware.

5.2.8.1 Interfaz blanco y negro.

En esta etapa de desarrollo se planteó inicialmente una interfaz en blanco y negro que permitió identificar los aspectos de navegación claves, sin la inclusión de elementos que pudiese alterarlos. En la figura 20 pantalla A se puede observar la pantalla de inicio donde muestra un espacio de logo y el botón que inicia el simulador.

Figura 20*Flujo de interfaz blanco y negro*

A continuación, en la figura 20 pantalla B se presentó la pantalla de selección, donde el tutor o profesor encargado se dispone a seleccionar qué tipo de próstata quiere que el estudiante diagnostique. En esta pantalla se presentaron 4 opciones, una próstata normal, agrandada, con prostatitis o con posible presencia de cáncer.

En la figura 20 pantalla C se muestra la pantalla con diferentes tipos de información. Primero, indica al usuario colocarse el guante quirúrgico e introducir la mano en el simulador para iniciar el proceso de calibración que arrancará de forma automática una vez detecte la mano en la zona de seguimiento.

Una vez iniciada la fase de calibración se muestra la pantalla de la figura 20 pantalla D, este fue el primer contacto con la interfaz y la tecnología de realidad aumentada a través del Leap Motion.

La figura 20 pantalla E muestra el esquema que tendrá la interfaz principal. En ésta el usuario interactúa virtualmente con un paciente y una próstata con dos vistas diferentes; una

superior y otra lateral, esto se hace con el fin que el usuario se pueda ubicar espacialmente en el simulador y sea más fácil su comprensión.

5.2.8.2 Interfaz a color y funciones básicas.

Luego de haber presentado y socializado la primera propuesta de interfaz, se creó una identidad visual, se integró y se seleccionó el nombre del simulador como producto, entre las alternativas se selecciona la palabra “SERP”, cuyo origen es el acrónimo de **S**imulador de **E**xamen **R**ectal de **P**róstata; acto seguido se opta por elaborar un imagotipo que permita identificar la imagen por su nombre.

Basado en la alternativa (b) en el apéndice I se modificó para lograr una apariencia similar a la que sería una próstata vista de frente con dos formas dispuestas a los lados en representación del tacto. Acompañada a esta imagen se selecciona una paleta de colores, la cual es conformada por dos tonos azul claro, por la asociación al sector salud y el rosa representante de la lucha contra el cáncer.

El resultado final del proceso de creación de imagen visual se muestra en la figura 21 con sus respectivos códigos de color y gradientes permitidas.

Figura 21

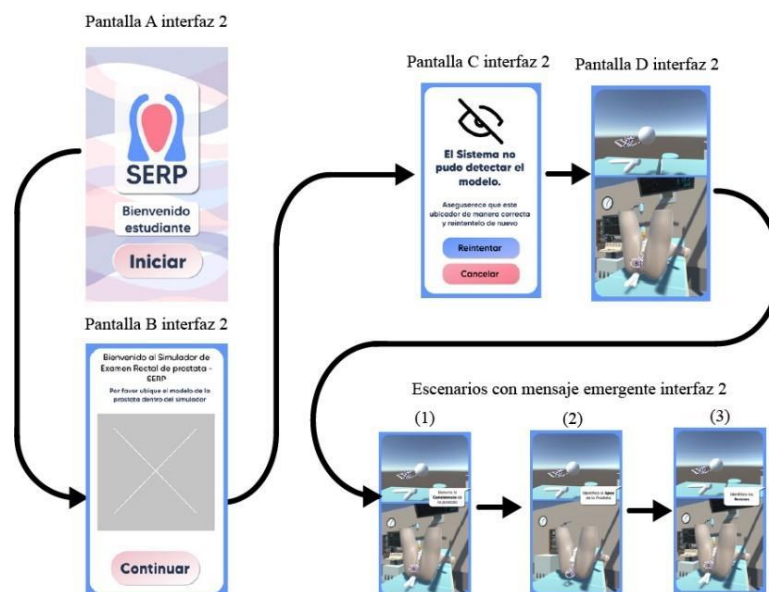
Diseño final imagen visual con paleta de colores



Con la imagen visual establecida, se inició el proceso de diseño en la interfaz, comenzando por la pantalla principal inicial mostrada en la figura 22 pantalla A, la cual es la imagen de bienvenida para iniciar la interacción. Se establecen formas redondeadas y con efecto volumen a través de sombras en los botones, de igual manera se crea un fondo a partir del primer isotipo trabajado superpuesto múltiples veces.

Figura 22

Flujo interfaz a color y funciones básicas



A raíz de las observaciones y continuando con la integración de la realidad aumentada se planteó el uso de una cámara, cuya función será reconocer el tipo próstata que se encuentra dentro del simulador, para así evitar la pantalla de selección sugerida en la primera propuesta, el resultado de esta pantalla se muestra en la figura 22 pantalla B. Una vez el sistema identifique el tipo de próstata permitirá continuar al usuario.

Teniendo en cuenta un posible fallo en el sistema de reconocimiento, se estableció una pantalla auxiliar que aparecerá en determinado lapso, desplegando la opción de intentarlo de

nuevo o salir del programa, apoyado con un código de color para favorecer la elección deseada. En la figura 22 pantalla C, se presenta la pantalla mencionada.

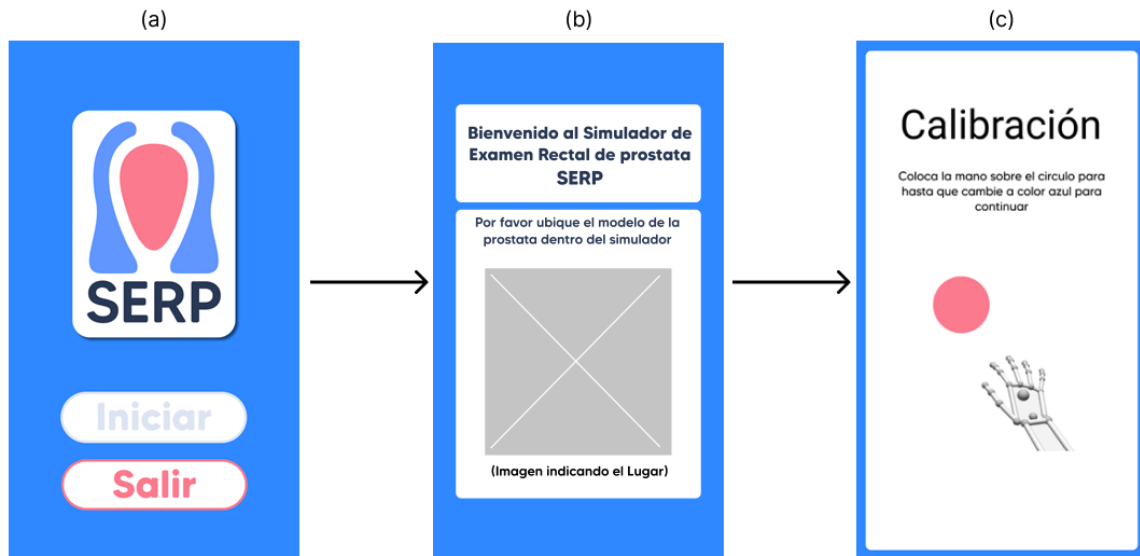
La figura 22 pantalla D muestra la propuesta de pantalla en el escenario principal, donde se visualiza el tacto rectal de próstata desde 2 vistas diferentes, en la vista superior de la pantalla aparecerá la representación de la mano leída por el Leap Motion tocando una esfera, esta representa la próstata que será incluida más adelante en el proyecto y la vista en la parte inferior de la pantalla mostrará la simulación de la mano ingresando por el recto del paciente.

Teniendo en cuenta la interacción con el usuario y el proceso del examen, se planteó que en determinados intervalos de tiempo aparezcan en pantalla mensajes emergentes recordando las zonas principales a palpar durante el examen, el ejemplo de estos mensajes es presentado en la figura 22 “figura con mensaje emergente interfaz 2”, allí vemos los tres ejemplos.

5.2.8.3 Interfaz con alternativas de funcionamiento de 3 o 5 botones.

Posterior a la revisión de la interfaz propuesta en la etapa anterior se realizaron las correcciones, se modificó el manejo de la información de soporte y se agregó un cuestionario con su respectiva retroalimentación.

En la figura 23 se muestra el resultado de las modificaciones que se hicieron en las primeras pantallas de la interfaz, en la portada (a) se muestra el resultado de los cambios realizados, principalmente en el aspecto visual adoptando una estética minimalista con colores sólidos y diseño de botones planos en el que se identifica con mayor facilidad los diferentes estados de este.

Figura 23*Pantalla a, b y c interfaz*

Al iniciar el simulador se realiza el proceso de identificación de la próstata como se ve en la figura 23 (b) y antes de pasar a la pantalla principal se integra una fase de calibración para que el usuario tenga un acercamiento previo del sistema Leap Motion y se familiarice con el mismo. En la figura 23 (c) se muestra como es la visualización del inicio de la fase, el cual consistirá en presionar virtualmente botones en el espacio a través de un sistema de seguimiento y repeticiones en secuencia. Culminado este proceso pasa automáticamente a la pantalla de interacción principal.

En esta fase del proceso de adaptación de la interfaz se realizaron dos alternativas para la navegación de la interfaz a través de botones físicos, uno que consiste en tres botones con la función de arriba, abajo y selección, o por otro lado un diseño con 5 botones que consta de botón arriba, abajo, ayuda, aceptar y cancelar. En la figura 24 se encuentra representada la iconografía para el teclado físico

Figura 24

Iconografía teclado físico 3 y 5 botones



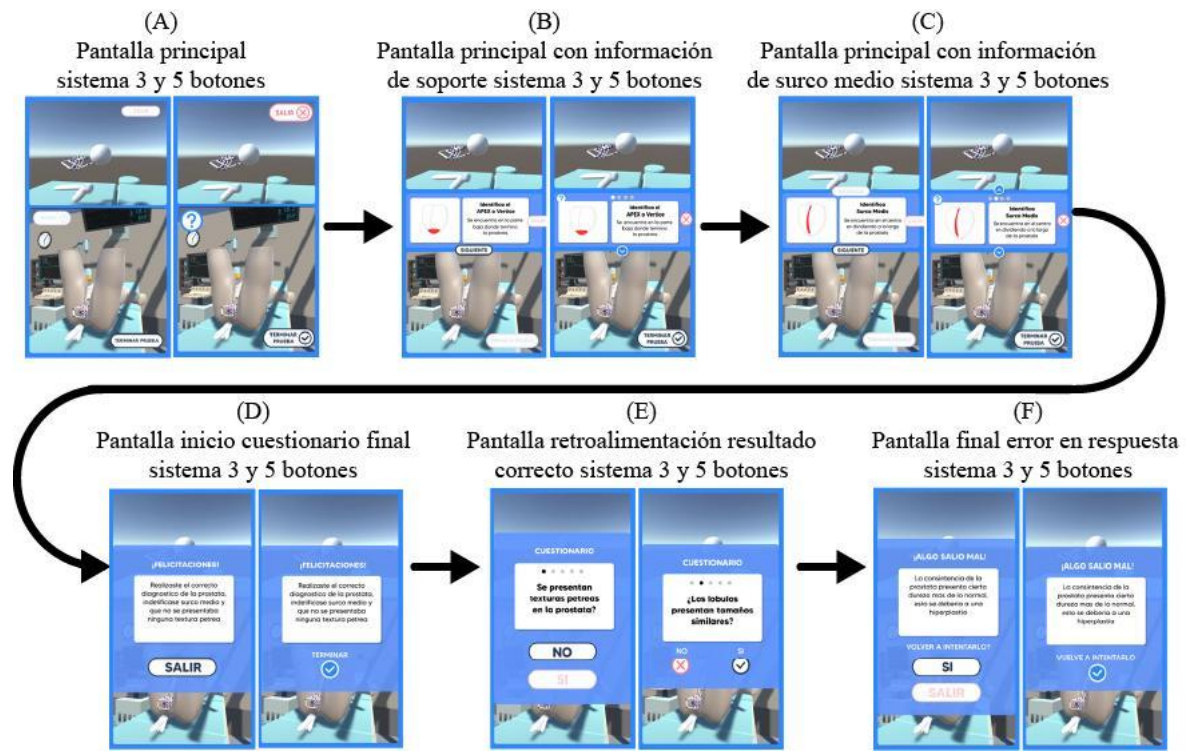
Teniendo en cuenta la propuesta de dos alternativas de navegación por medio de botones físicos se plantearon modificaciones en la interfaz para que se acoplaran a su respectiva alternativa, a continuación, se mostrará las alternativas y las diferencias presentadas en cada una de las pantallas.

A raíz de la socialización y recomendaciones recibidas de la interfaz en la etapa 2, se identificó la necesidad de acceder a la información de soporte y navegar a través de ella, por lo tanto, en la pantalla principal se dispuso nuevos botones como se muestran en la figura 25 (a la izquierda la alternativa de navegación con tres botones y derecha 5 botones), en ella se puede ver las diferencias entre las dos propuestas.

En el sistema de 3 botones se manejan las opciones por cambio de estado, cuando es preseleccionado se satura de color, resaltando entre los demás que cuando están desactivados se encuentran desaturados. El sistema de 5 botones incluye los iconos que encuentra en el teclado junto al texto para su reconocimiento.

Figura 25

Pantalla principal, retroalimentación y final con sistema de 3 y 5 botones.



En la figura 25 (A), se presenta como es la navegación en la información de soporte dispuesta durante el procedimiento, a diferencia de la interfaz anterior, la información de soporte aparece cuando se selecciona el botón de ayuda en la interfaz de tres botones u oprimiendo el botón físico con el símbolo de interrogación en el teclado en la alternativa de 5 botones.

Continuando con las recomendaciones obtenidas a raíz de la interfaz propuesta anteriormente, la información de soporte presentada fue acompañada de una imagen que facilite su comprensión por parte del estudiante, en la figura 25 (B) y (C) se muestran las pantallas en sus dos opciones de botones, siendo esta la muestra de seleccionar la opción de navegar en la información de soporte. Así mismo cada una de las opciones permite cerrar el menú de ayuda y volver a la pantalla principal sin información de soporte.

En la pantalla final se integró en el simulador el proceso de cuestionario y retroalimentación para evaluar la tarea realizada por el usuario, de esta manera el usuario puede evaluar sus conocimientos y recibir una retroalimentación. En la figura 25 (D) se evidencia el uso de la variación en los botones referenciando tres botones en la imagen izquierda y cinco en la derecha.

Como se mencionó anteriormente la aplicación directa de cuestionarios por parte del simulador permite mayor interactividad en la experiencia, además de generar retroalimentación en el usuario. En la figura 25 (E) se puede evidenciar de izquierda a derecha las pantallas de 3 y 5 botones respectivamente una vez es contestado el cuestionario y el resultado fue positivo.

Así mismo en la figura 25 (F) se ven las pantallas de izquierda a derecha con 3 y 5 botones respectivamente cuando las respuestas al cuestionario no fueron resueltas de manera correcta, reafirmando la autonomía del simulador y su aporte a la formación profesional.

5.2.8.4 Diseño de hardware.

Para poder testear la interfaz gráfica se necesitan elementos físicos donde se pueda visualizar, controlar e interactuar con ella. Esto permitirá evaluar los planteamientos que hicimos sobre la interfaz, generar un prototipo funcional y validar los objetivos planteados en el proyecto.

5.2.8.4.1 Armazón del prototipo.

La información recopilada en los procesos anteriores permitió la realización del prototipo, sabiendo qué elementos se necesitaban y cuanto material se iba a emplear. Se decidió usar madera MDF para la base del prototipo, debido a las propiedades del material y su costo. Esta base tiene unas medidas de 60 cm de largo, 40 cm de ancho y 30 de alto, con esto se da el espacio suficiente para ubicar los sensores y que funcionen correctamente como lo son la

cámara y el Leap Motion. Luego, en la tapa superior con cara interior de la caja se dispuso el modelo físico de la próstata con diferentes tipos de diagnósticos, este elemento fue realizado mediante procesos de impresión 3D y permite que sea fácil de adaptar a la base del prototipo. En la parte superior de la base se dispuso los dos elementos restantes, que son la pantalla de 22 pulgadas en disposición vertical con un ángulo de 50° de inclinación y los botones físicos para navegar con la interfaz propuesta.

Figura 26

Sketch del prototipo físico señalando los elementos principales

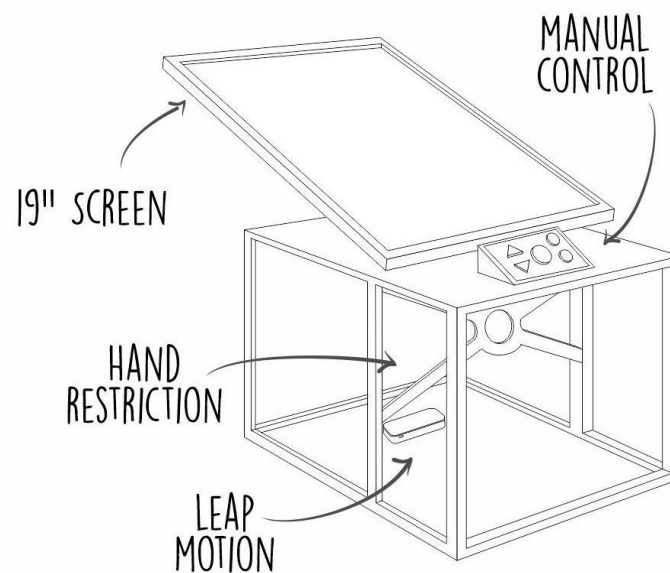
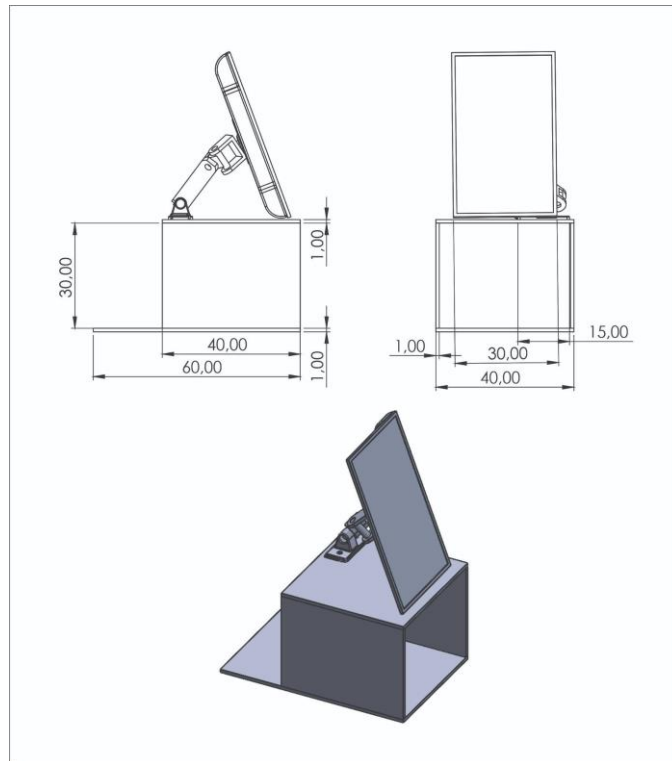


Figura 27

Plano con medidas prototipo físico



5.2.8.4.2 Teclado.

Como se plantea en el diseño de interfaz gráfica las alternativas de 3 o 5 botones se necesita un teclado que sea fácil de modificar para evaluar las 2 alternativas, por eso se usa un teclado numérico con una carcasa de cartón corrugado y 5 orificios para poder disponer los botones propuestos dependiendo de la alternativa que se vaya a evaluar en la figura 28 se puede visualizar el teclado propuesto con la alternativa de 5 botones.

Figura 28

Teclado físico

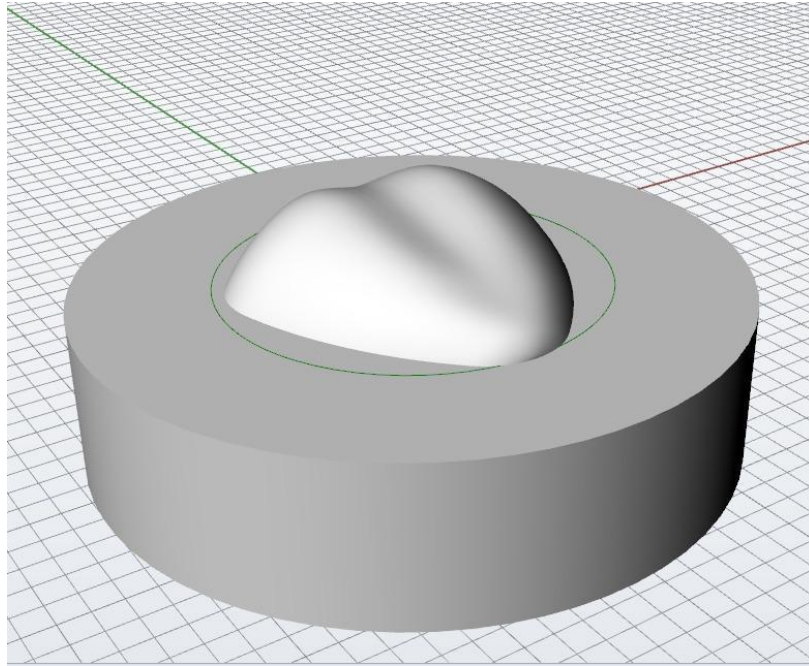


5.2.8.4.3 Próstatas físicas.

El diseño y prototipado de la próstata se realizó con base a la información recopilada por los doctores Cesar Gonzales y Juan Pablo Rojas, con esto se realizó un modelado inicial en el programa Rhinoceros de un tamaño de 1,5 x 1,5 x 1 cm, como se ve en la figura 29.

Figura 29

Modelado inicial próstata



El siguiente paso fue la realización un prototipo físico inicial de la próstata para someterlo a validación y análisis, estos modelos que se observan en la figura 30, se realizaron por medio de impresión 3D en material TPU para que así presentara cierta flexibilidad. Además, se hicieron pequeñas modificaciones en tamaños y formas para simular diagnósticos como hipertrofias y texturas pétreas.

Figura 30

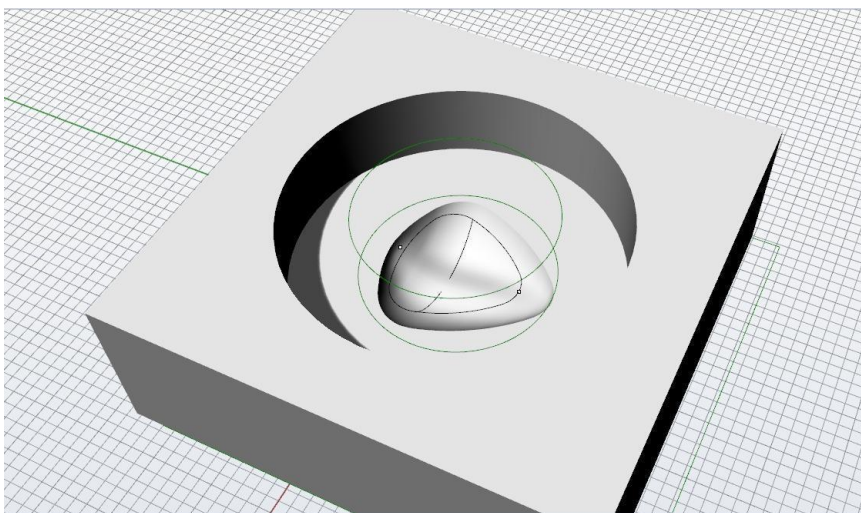
Próstatas físicas impresas



Después de revisar los modelos físicos se logró determinar cuál es la alternativa más realista. Con esto ya establecido se retorna al programa Rhinoceros y se diseñan los moldes para crear los prototipos de próstatas en un material más flexible, este proceso se realizó basado en el primer modelo.

Figura 31

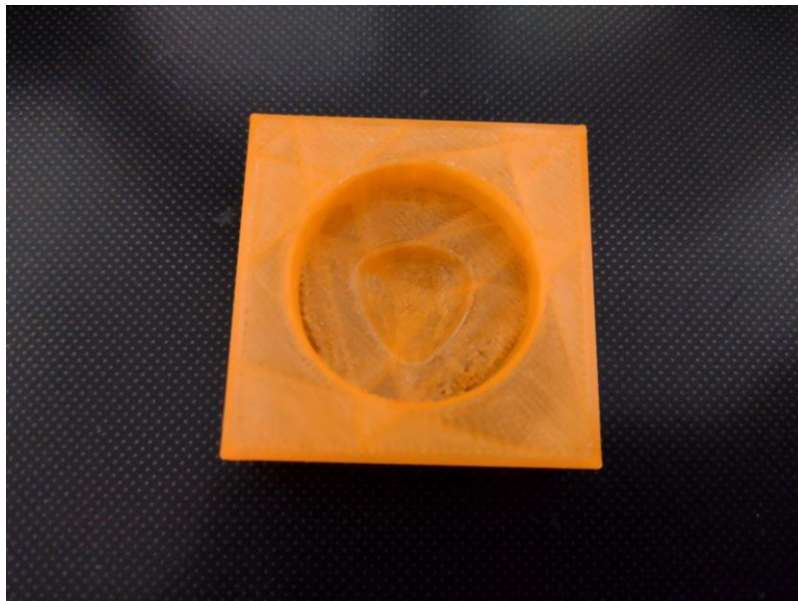
Modelado molde próstata física



Una vez terminado el modelado del molde, se pasó al proceso de impresión 3D allí obtenemos el modelo en un material rígido, en este caso el PLA. El molde tiene un tamaño de 4x4x2 centímetros, finalmente se vertió silicona para moldes en este para que la próstata tuviera una textura similar a la real y que fuera comprobada en las pruebas con los residentes de medicina.

Figura 32

Impresión molde próstata física



5.2.9 Evaluación con usuarios

Con el fin de evaluar las alternativas entre tres y cinco botones planteadas, se realizó una prueba con estudiantes universitarios para validar su preferencia al momento de navegar en la interfaz (protocolo en apéndice J). Para ello se propuso una prueba con ambas navegaciones, se observó cómo se desempeñan en cada una por medio de toma de errores y tiempo para realizar las tareas indicadas, luego cada participante resolvió un cuestionario en el que dejan su preferencia en cual prefieren.

Esta prueba se acompañó con la herramienta de la prueba VisAWI la cual permitió evaluar los componentes estéticos de la interfaz con una serie de preguntas. En el apéndice J

se detalló las métricas de evaluación, las variables dependientes e independientes para la prueba desarrollada.

La prueba se realizó el 11 de septiembre de 2021 a partir de las 9:40 am hasta las 12:00 pm en la oficina 305 de la escuela de diseño industrial de la UIS. Con la participación de 15 estudiantes, de los cuales 7 fueron hombres y 8 mujeres. Todos son estudiantes de pregrado de la Universidad Industrial de Santander en el rango de edad de 18 a 25 años. Se invitó a los participantes desde las 10 am por medio de rondas de 3 estudiantes. Esto con el fin de no hacer esperar a tantas personas ya que solo podía ingresar un participante a la oficina en cada prueba. Al finalizar con estas 3 personas, se realizaba una pausa para contactar a otras 3 y así hasta completar los 15 participantes.

Figura 33

Aplicación de la evaluación con usuario

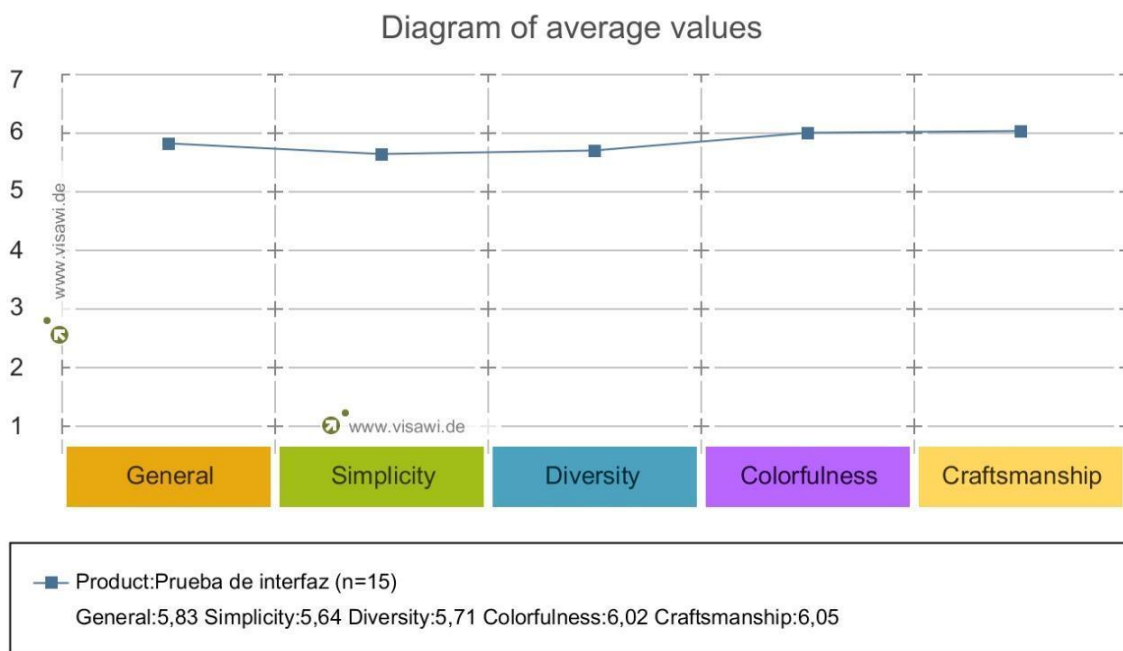


5.2.9.1 Resultados.

En los resultados de la prueba VisAWI, el cual muestra los resultados a las afirmaciones propuestas, en la frase “El diseño parece irregular” pasa del mínimo aceptable, por lo tanto, debe realizarse un análisis en donde presentan esas “irregularidades” y crear más uniformidad en el diseño de la interfaz. En la afirmación “el diseño es poco interesante” muestra un puntaje encima de 5 pero sigue siendo un puntaje bajo comparado con el general, esto se puede analizar por el hecho de las pruebas se hicieron con un prototipo rápido donde solo se evalúa la parte de la navegabilidad por la interfaz y no se integran todas las funciones del simulador, como puede ser la parte de la interacción con el sensor Leap Motion y el cuestionario. En general el diseño de la interfaz recibió un puntaje promedio alto como se ve en la figura 34, el general fue de 5,84 de un máximo de 7, el puntaje más bajo de los 4 factores fue el de simplicidad con un 5,64 y más alto el de profesionalismo en el diseño con un 6,05.

Figura 34

Resúmenes resultados VisAWI



Se analizó la toma de tiempos y la cantidad de errores, en dicho análisis se identificó que los participantes tomaban menos tiempo al realizar las tareas con la alternativa de 3 botones, sin embargo cometen más errores que con la alternativa de 5 botones, además al revisar repuestas del cuestionario se registró una pequeña preferencia por la alternativa de 5 botones, donde esta recibió 8 votos a favor contra 7 de la alternativa de 3 botones, por las razones anteriores se seleccionó la alternativa de 5 botones también teniendo en cuenta que los participantes al comienzo de la prueba solían tocar la pantalla para pulsar el botón virtual como si fuese tecnología táctil, por eso la alternativa de 5 botones al tener 1 botón físico por cada botón virtual permitiendo una transición para sencilla al momento que se decida usar una pantalla táctil.

5.2.10 Prototipo funcional

En el proceso de prototipado se realiza el sprint 4 donde ya se integraron todos los elementos físicos y virtuales para la realización del prototipo final. Aquí se evaluó el desarrollo del entorno virtual 3D y 2D en el programa Unity con ayuda del ingeniero Luis Ernesto Páez, quien se encargó de integrar la parte de interacción con el Leap Motion, lectura de próstata con el Plug-in de Vuforia, desarrollo del código del simulador y correcciones de la interfaz. Posterior a esto se hizo la verificación con la doctora Laura Valencia y 3 residentes donde se analizó el funcionamiento general del prototipo.

5.2.10.1 Desarrollo en Unity.

En Unity se realizaron las modificaciones propuestas por el ingeniero Luis Ernesto Páez, en la interfaz 2d se cambió de posición el indicador de menú en la parte de información de apoyo en el escenario principal, inicialmente estaba ubicada de forma horizontal y arriba del texto de información de apoyo y pasó a estar ubicada de forma vertical y al lado derecho del texto de información de apoyo. Esto ayuda a guiar al usuario en cómo debe desplazarse en el

menú y relacionar los botones físicos con el desplazamiento de una página de información a otra.

Otros cambios que se hicieron en el escenario principal fueron las distribuciones de espacios de la vista del escenario principal, donde inicialmente se presentaba en una distribución 50/50 de las vista lateral y la vista superior, a una distribución 60/40 esto debido a que la vista lateral es donde se dirige la mayor parte de la atención al momento de realizar el tacto rectal de próstata y la vista superior se usa para a tener una funcionalidad secundaria que ayuda al usuario a asimilar la posición del paciente y por donde debe ingresar en dedo.

Los anteriores cambios ayudan a que el usuario tenga una mejor experiencia al momento de usar el simulador, permitiendo que haga correlaciones entre los elementos físicos y los virtuales más fácilmente, de esta manera aumentar el espacio de pantalla a la información más importante e interesante del escenario principal del simulador.

5.2.10.2 Código para leer las próstatas.

Para que el simulador alcance cierto grado de complejidad se implementan diferentes tipos de próstatas, cada una con un diagnóstico diferente variando en su tamaño, contextura, identificación del surco medio, similitud de lóbulos y texturas pétreas. Como se evidenció anteriormente, para que el simulador pueda diferenciar una de la otra se usa el Plug-in de Vuforia que es el encargado de leer imágenes y convertirlos en comandos. En la figura 35 se muestra un código impreso en 3D de color azul el cual se une a la base de la próstata física. Luego de esto se toma una fotografía de lo anterior y se carga a la base de datos de Vuforia, de esta manera se configura en Unity así cuando la cámara identifique la imagen, el simulador enviará una respuesta de que se puede continuar. Por último, el resultado del cuestionario dependerá de la próstata que fue leída, si fue una próstata sana o con otro tipo de diagnóstico.

Figura 35

Código para próstatas impreso



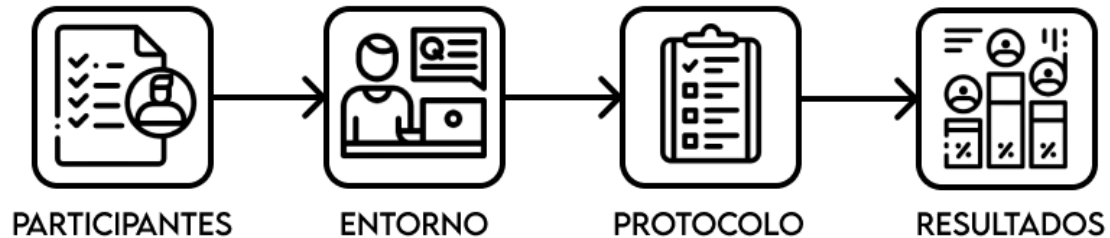
5.3 Fase 3. Evaluación experimental

Ya completado el prototipo integrado en Unity y acondicionado al sistema físico que soporta el hardware, se procedió a realizar la prueba experimental, en ella se evaluó la usabilidad de la interfaz, comparativa entre el simulador tradicional con el simulador propuesto en términos de retención y transmisión de información de los usuarios de cada simulador.

Con eso se establece los participantes de la prueba, el entorno en que se va a desarrollar, el protocolo y resultados.

Figura 36

Descripción de actividades Fase 3

**5.3.1. Participantes**

Para la prueba se estableció una muestra de 15 participantes que fueran estudiantes de la universidad industrial de Santander de la facultad de medicina que por lo menos estén cursando segundo semestre, en el rango de edad de 18 a 30 años, deben establecer que conocimientos previos tienen sobre el examen rectal de próstata, tanto práctico como teórico y que tal familiarizados están con el uso de simuladores en el laboratorio de simulación clínica.

5.3.2 Entorno

La prueba decidió realizarse en la Universidad Industrial de Santander, en la facultad de medicina, en el laboratorio de simulación clínica bajo la supervisión del encargado del laboratorio que nos dispuso un espacio cerrado para no tener interferencia de agentes externos como interrupciones de personas ajenas a la prueba que permitió el desarrollo de la prueba en un ambiente controlado.

La prueba experimental se desarrolló en 2 fechas diferentes, en la primera se evaluó la usabilidad y la segunda la transferencia. Esto se hizo debido al tiempo que se requiere para

realizar cada prueba porque requiere una preparación del estudiante, ejecución de la prueba y toma de datos.

La primera parte de la prueba se realizó el 15 de diciembre de 2021 con el uso del simulador propuesto S.E.R.P, una mesa para disponer el simulador, un computador portátil para toma de datos, un smartphone para el registro fotográfico, un smartphone para toma de tiempos, formatos de encuesta y formato que indique las tareas a realizar por el participante.

Figura 37

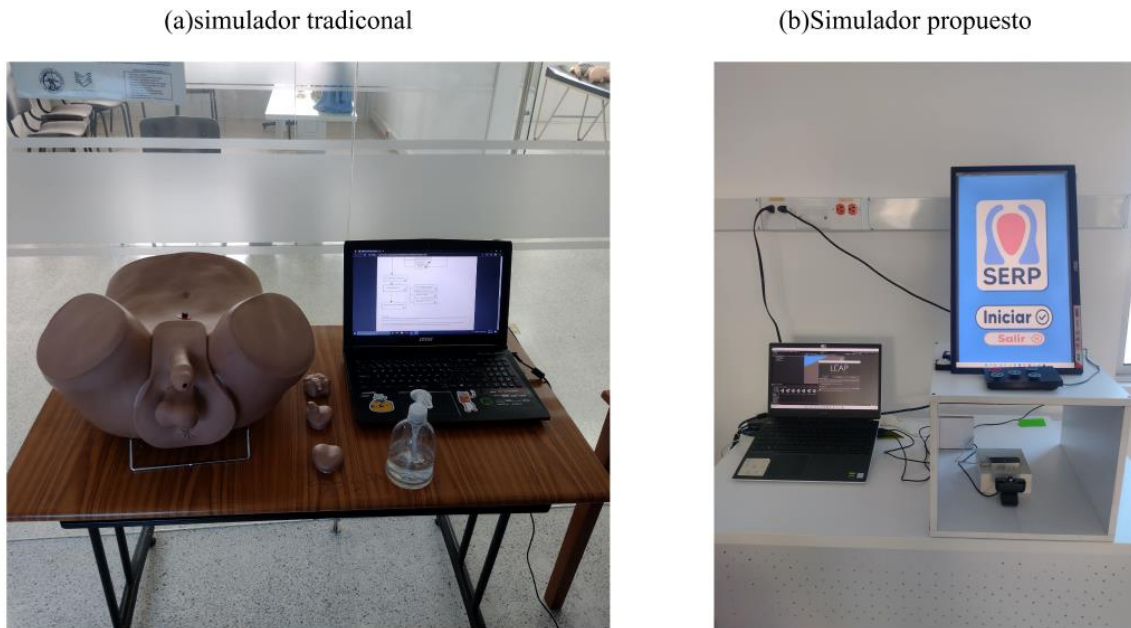
Simulador usado en la prueba de usabilidad



La segunda prueba se realizó el 8 de febrero de 2022 con el uso del simulador tradicional, el simulador propuesto S.E.R.P, dos mesas para disponer los simuladores uno a cada extremo del salón, dos sillas para que los participantes se puedan sentar a visualizar el video informativo sobre el examen rectal de próstata, dos computadores portátil para la toma de datos y visualización del video informativo, formatos de encuesta , cuestionarios, un smartphone para la evidencia fotográfica y un smartphone para la toma de tiempos.

Figura 38

Imágenes de los simuladores usados en prueba de transferencia

**5.3.3 Protocolo**

El primer aspecto por evaluar será la usabilidad del sistema, para esta actividad se practicará una prueba en la cual el usuario debe cumplir una serie de tareas en el simulador con éxito, además se recolecta información extra como el tiempo y las retroalimentaciones dadas por los participantes. Adicionalmente se realizó una prueba que permite medir la usabilidad mediante la escala SUS, con ello identificar aspectos de mejora, así mismo identificar fallos críticos mediante el no cumplimiento de tareas propuestas; en el apéndice K se describe en detalle el protocolo de la prueba.

El segundo aspecto es la transferencia, el cual permitió por medio de comparación de resultados la efectividad de transmisión, retención de la información suministrada y practicada en los distintos simuladores. En el apéndice K se describe la preparación y objetivos para la prueba de transferencia, el cual permitió por medio de comparación de resultados la efectividad

de transmisión y retención de la información suministrada y practicada en los distintos simuladores.

5.3.3.1 Variables.

La prueba de determino en un entorno donde se simulo la práctica de examen rectal de próstata por medio del prototipo propuesto con tecnología de realidad aumentada para evaluar la usabilidad y transferencia por medio de la comparativa con el simulador tradicional que se presenta en el laboratorio de simulación clínica. En la siguiente tabla se muestran las variables dependientes y variables independientes para el desarrollo de la prueba.

Tabla 9.

Variables independientes, dependientes y unidad experimental

Variables independientes	Unidad experimental	Variables dependientes
<ul style="list-style-type: none"> ● Escena donde se realiza tarea estipulada en el simulador propuesto. ● Escena donde realiza una introducción al proceso de examen rectal de próstata y se procede a usar el simulador tradicional o el simulador propuesto de forma aleatoria. 	<p>Estudiantes UIS</p> <p>Facultad: Medicina</p> <p>Género: La mitad de los usuarios son hombres y la otra mitad mujeres.</p> <p>Edad: entre los 18 y 30 años.</p> <p>Experiencia: estar estudiando la carrera de medicina. Estudios de anatomía humana y el uso de dispositivos electrónicos como computadores, smartphones y tables.</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● Tiempo al completar la tarea. ● Tiempo por tarea. ● Porcentaje de errores. ● Problemas de usabilidad. ● Porcentaje de satisfacción de los usuarios. ● Cumplimiento de la tarea.

		<ul style="list-style-type: none"> ● Porcentaje de retención de la información.
--	--	--

5.3.3.2 Desarrollo prueba.

Como la prueba se desarrolló en diferentes fechas se anotó un procedimiento a cada una de ellas, a continuación, en la figura 39 se muestra el procedimiento realizado.

Figura 39

Procedimiento de prueba

	PROCEDIMIENTO USABILIDAD SISTEMA	PROCEDIMIENTO A COMPARATIVA ENTRE SIMULADOR TRADICIONAL Y PROPUESTO
Antes	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso al laboratorio de simulación clínica en la facultad de salud UIS en horas de la mañana. • Organización del espacio para la prueba con el prototipo funcional. • Calibración y testeo del prototipo. • Se prepara el evaluador para tomar datos. • Ingresa el participante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ingreso al laboratorio de simulación clínica en las horas de la mañana. • Organización del espacio para la prueba con el prototipo final y el simulador tradicional. • Calibración y testeo del prototipo. • Se prepara el evaluador para tomar datos. • Ingresa el participante.
Durante	<ul style="list-style-type: none"> • Explicación de la prueba al participante por parte del evaluador. • Entrega al participantes el instructivo de tareas. • Explicación al participante de como funciona el sistema. • Toma de tiempo y errores por parte del evaluador. • Entrega al participante el cuestionario VisAWI y de usabilidad SUS para ser resuelto. 	<ul style="list-style-type: none"> • Explicación de la prueba al participante por parte del evaluador. • El participante observa el video tutorial y el diagrama de tareas. • El participante realiza la prueba en el simulador tradicional o el prototipo. • Toma de tiempo y observaciones por parte del evaluador. • Entrega al participante el cuestionario de transferencia y lo resuelve.
Despues	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos (edad, semestre cursado). • Socialización del uso del prototipo por parte de los participantes a los evaluadores. • Reinicio del simulador para el siguiente participante. 	<ul style="list-style-type: none"> • Recolección de datos. • Socialización del uso de simulador o el prototipo por parte de los participantes a los evaluadores. • Retroalimentación por parte de los participantes. • Reinicio del simulador para el siguiente participante.

El flujo de participantes para la actividad se organizó en rondas de 2 estudiantes con el fin de no tener tiempos de espera prolongados debido a que la prueba se hace de forma individual, además así se tiene control y mayor fluidez en la recolección de datos. Al finalizar cada ciclo de 2 personas, se realiza una nueva convocatoria de 2 participantes más, de esta manera se realizan 10 ciclos para completar la media de 20 interacciones.

5.3.3 Resultados

La prueba enfocada en usabilidad se realizó la prueba con 15 participantes, 8 mujeres y 7 hombres. Todos estudiantes de pregrado de la Universidad Industrial de Santander de la facultad de medicina en el rango de edad de 18 a 30 años cursando entre segundo y decimo semestre, donde los estudiantes de segundo a cuarto semestre tenían un conocimiento casi nulo del examen rectal de próstata, estudiantes de quinto a séptimo semestre tenían un conocimiento teórico sobre el procedimiento y octavo a decimo semestre un conocimiento teórico y familiaridad con otros procedimientos de forma práctica.

Figura 40

Explicación de la prueba a estudiantes de medicina.



La prueba transferencia se desarrolló con 20 participantes, 14 mujeres y 6 hombres. Todo estudiante de pregrado de la Universidad Industrial de Santander de la facultad de medicina en un rango de edad de 18 a 30 años y cursando entre segundo y noveno semestre, donde los estudiantes de segundo a cuarto semestre tenían un conocimiento casi nulo del examen rectal de próstata, estudiantes de quinto a séptimo semestre tenían un conocimiento teórico sobre el procedimiento y octavo a noveno semestre un conocimiento teórico y familiaridad con otros procedimientos de forma práctica.

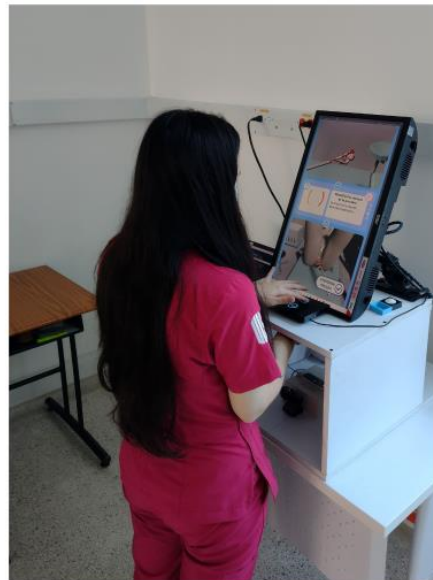
Figura 41

Prueba con los dos simuladores

(a) simulador tradicional



(b) Simulador propuesto

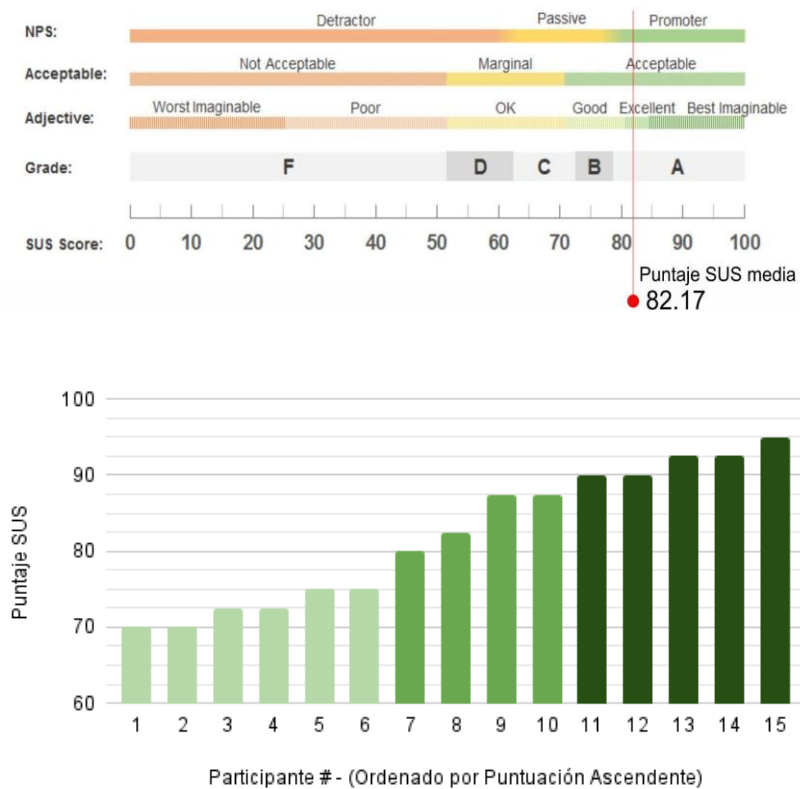


El sistema de escala de usabilidad (SUS), permitió evaluar de forma sistemática la satisfacción del usuario y cuantificar (35). Una vez obtenidos los resultados, se cuantificaron las respuestas dadas y se obtuvo como resultado de 82.17. En la figura 42 se muestra el puntaje obtenido por cada estudiante en la escala SUS, como resultado el primer indicador es la posición que adoptó el usuario respecto al uso de la interfaz optando una posición promotora,

el segundo indicador muestro que la interfaz es aceptable en su uso sin ningún inconveniente. El tercero permite evaluar la interfaz con un adjetivo calificativo siendo este el grado de excelente y el último califica en una escala de F a A el grado de cumplimiento obteniendo como resultado A.

Figura 42

Escala usabilidad (SUS) con resultado obtenido



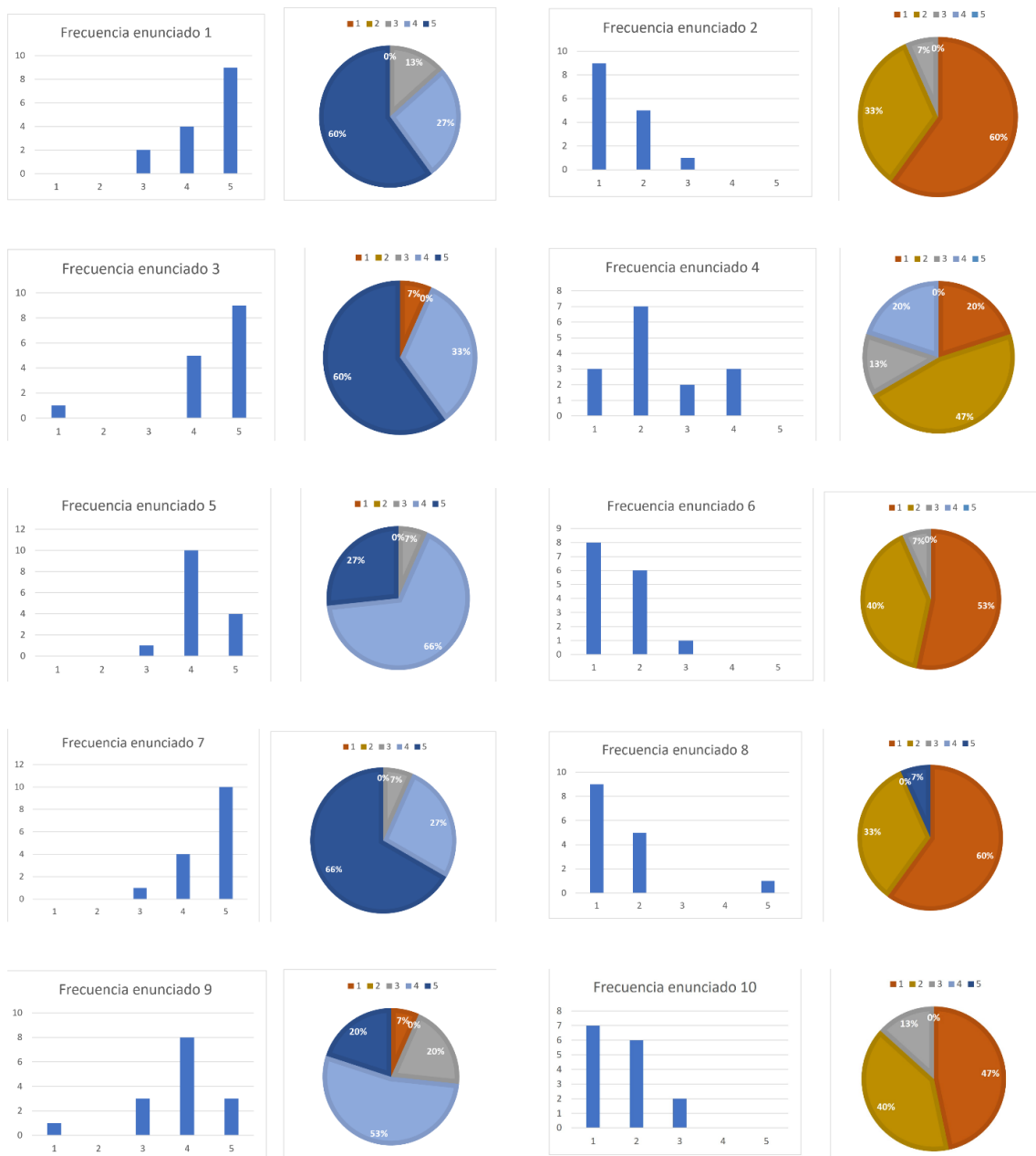
Nota. La parte superior de la figura se muestra el resultado de escala SUS con su respectivo indicador y en la parte inferior el puntaje de cada participante.

Además del uso de puntaje SUS se usó graficas de frecuencia para analizar cada enunciado del cuestionario realizado (Apéndice K). En los resultados se puede ver que los enunciados donde se mantuvo una frecuencia superior al 70% en el puntaje de 4 y 5 (totalmente

de acuerdo) fue el enunciado 1, 3,5,7 y 9. Donde se mantuvo una frecuencia superior al 70% en el puntaje 1 y 2 (totalmente desacuerdo) fue en el enunciado 2,6,8 y 10. Finalmente donde no se presenta una frecuencia mayor al 70% en ningún extremo de los puntajes es el enunciado 4, en la figura 43 se pueden visualizar las gráficas de frecuencia.

Figura 43

Graficas de frecuencia



Por otro lado, los residentes que realizaron la prueba propusieron mejoras en el sentido del realismo de la próstata, mayor diferenciación una de la otra y más variedad de próstatas para más interactividad al momento de realizar diagnósticos. También desean que se limiten los movimientos de la mano con la que se realiza el tacto rectal simulando la restricción del recto.

En la prueba en la parte de transferencia se tabuló la información recopilada en la tabla 10; se calificó a los participantes basados en el test de transferencia, en el cual el puntaje máximo es 6, después se realizó un promedio con las calificaciones de los estudiantes que usaron el simulador físico y los estudiantes que usaron el simulador digital; allí se pudo observar que los primeros obtuvieron una calificación promedio de 3,65 que en términos porcentuales representa un 60,8% de asertividad, mientras que los segundos alcanzaron una calificación promedio de 4,7 que representa el 78,3% de acierto, esto indica que los estudiantes que participaron en el simulador digital obtuvieron una calificación 17.5% más alta que los que usaron el simulador físico.

Tabla 10

Toma de datos por tarea y calificación

#	Tiempo			Edad	Nivel	Sexo	Calificación (sobre 6)	Simulador
	Diagrama	Simulador or	Test					
1	1:30	0:50	3:15	19	6	F	3,5	FÍSICO
2	1:37	1:03	3:08	19	6	F	6	DIGITAL
3	0:30	0:40	2:31	20	2	F	2	FÍSICO
4	1:10	1:21	2:12	20	2	F	5,5	DIGITAL
5	0:36	0:49	1:22	19	2	F	3,5	FÍSICO

6	1:22	1:12	3:10	19	2	M	3	DIGITAL
7	1:03	1:25	2:28	22	5	M	5	DIGITAL
8	0:54	0:25	7:02	20	6	M	3	FÍSICO
9	1:57	1:28	2:40	21	6	M	5	DIGITAL
10	1:57	0:40	9:08	20	6	M	3	FÍSICO
11	1:14	1:52	4:12	18	2	F	5	DIGITAL
12	1:10	0:42	3:10	18	2	F	3,5	FÍSICO
13	1:35	0:35	4:47	19	2	F	4,5	FÍSICO
14	1:40	1:45	5:00	18	2	F	2,5	DIGITAL
15	1:32	1:45	4:20	22	7	M	2,5	FÍSICO
16	1:40	2:38	4:28	20	2	F	5	DIGITAL
17	2:10	0:53	4:26	22	6	F	5,5	FÍSICO
18	2:14	1:22	4:44	21	6	F	5,5	DIGITAL
19	0:52	0:53	3:42	30	4	F	4,5	DIGITAL
20	0:48	1:25	3:02	20	4	F	5,5	FÍSICO
Promedio Total	1:22	1:11	3:55	20,3	4	70% F 30% M	4,17	Cumplimiento
Promedio Físico	1:16	0:52	4:18	19,9	4,3	70% F 30% M	3,65	60,8%
Promedio Digital	1:28	1:29	3:32	20,8	3,7	70% F 30% M	4,7	78,3%

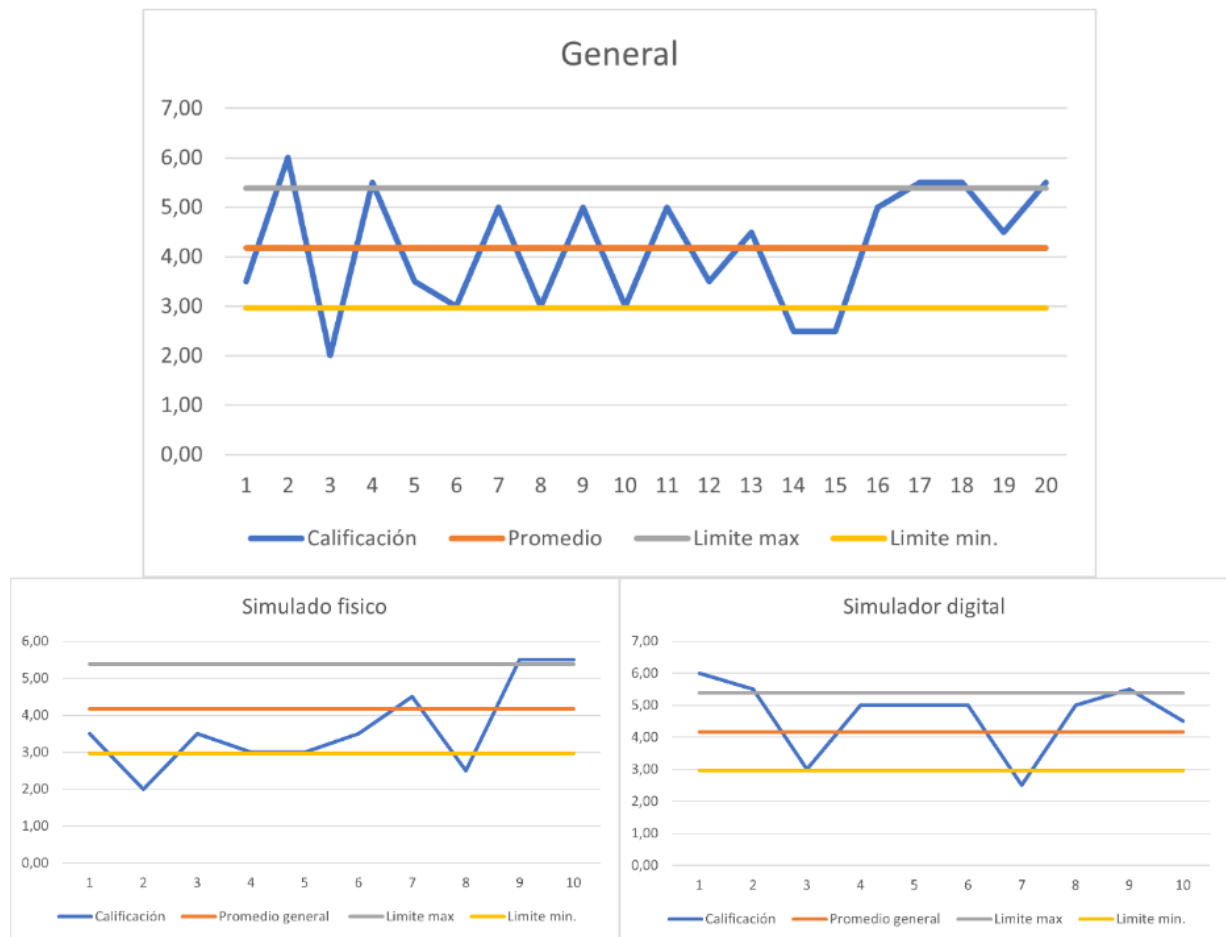
Nota. En la tabla se muestra de forma detallada la toma de datos de cada participante en la prueba de transferencia.

En las siguientes gráficas se observa los resultados de las pruebas de transferencia por medio de desviación estándar, estableciendo un límite máximo y mínimo sobre la prueba en general como se observa en la primera gráfica en la figura 44, debajo de esta se ven dos gráficas,

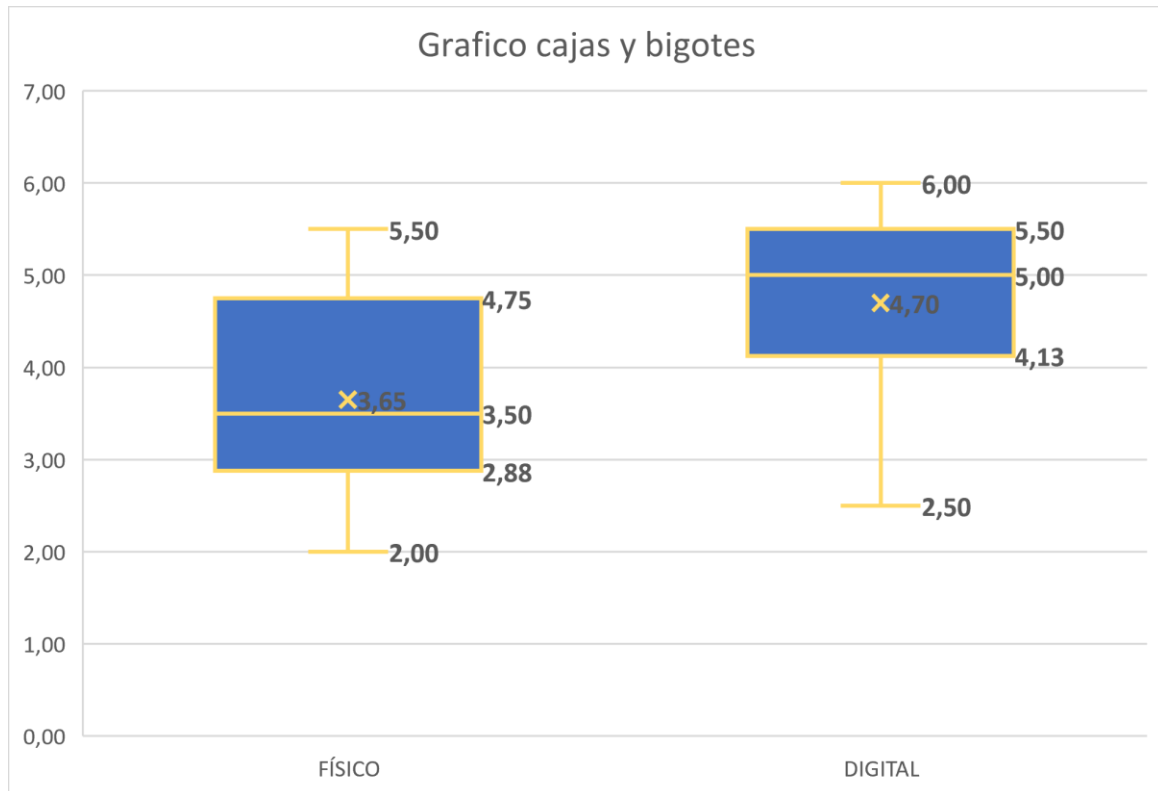
una del simulador físico y otra el digital (simulador propuesto) con los límites superiores e inferiores de la prueba general.

Figura 44

Desviación estándar



Con el fin de encontrar el promedio, mediana y en qué sector se encuentra la mayoría de los datos tanto en prueba con el simulador físico como el simulador propuesto (digital) y compararlos se usa una gráfica de cajas y bigotes como se ve en la figura 45.

Figura 45*Gráfico de cajas y bigotes*

6. Conclusiones

Los parámetros identificados para el desarrollo de la interfaz en realidad aumentada permitieron que los participantes pudieran identificar las partes de la próstata por medio de la próstata física impresa en 3d y la pantalla que suministraba la información de soporte que le permitió identificar que parte estaba tocando en tiempo real.

El ambiente virtual diseñado para el aprendizaje del examen rectal de próstata con ayuda del análisis cognitivo de tarea ayudó a que los participantes tuvieran un proceso donde podían realizar la parte práctica del tacto rectal de próstata, simular tareas automáticas y no automáticas del proceso donde las tarea que se requerían para el diagnóstico de la próstata se les suministraba información mientras realizaban en tacto de esta, después podían tomar un cuestionario donde tomaba a prueba la información obtenida, indicarles sin realizaban un correcto diagnostico sin generarles una sobrecarga de información y prefiriendo el simulador propuesto ante el tradicional.

En los resultados de la prueba SUS se concluye que la interfaz en términos de usabilidad cumple de manera aceptable con un puntaje de 80.3 sobre 100 y posibilidad de mejora como se ve en las gráficas de frecuencia en la prueba de usabilidad, porque, aunque el 67% de los encuestados está muy desacuerdo o desacuerdo con el enunciado 4 que dice: “Creo que necesitaría ayuda de una persona con conocimientos técnicos para usar este simulador”, un 13% esta neutral y un 20% de acuerdo. Esto indica que el simulador no es completamente claro al momento de su funcionamiento.

Con los resultados obtenidos en la prueba transferencia se ve con ayuda de las gráficas de desviación estándar y grafica de caja y bigotes que los participantes que usaron simulador propuesto SERP tienen una calificación más alta a comparación de los participantes que usaron

el simulador tradicional. Con eso se concluye que el simulador ayuda más en la retención y trasmisión de la información en comparación con el simulador tradicional.

Se concluye que el uso de la interfaz propuesta con tecnología de realidad aumentada fomenta el aprendizaje en el procedimiento de examen rectal de próstata a comparación del simulador tradicional por el hecho que el usuario puede realizar una actividad practica de tacto de próstata por medio de un sensor Leap Motion y un modelo físico, mientras la pantalla suministra información en tiempo real de la prueba, guiando al usuario en el proceso y finalizando con una retroalimentación para determinar si realizo un correcto diagnóstico sobre este.

7. Recomendaciones y trabajo futuro

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos y observaciones realizadas durante la fase de pruebas se sugieren las siguientes recomendaciones:

Implementar una pantalla táctil que permita facilitar la navegación, debido a su familiaridad de los usuarios con dicha tecnología en el caso de no ser factible, se optará por el rediseño del control manual, de esta manera no será necesario la adaptación de un teclado numérico y tendremos acceso a un controlador único que sea más intuitivo para los estudiantes.

Simular los pasos previos al tacto rectal, contemplando en ellos la preparación del paciente y la del estudiante.

Crear un prototipo de esfínter humano para el simulador, con el fin de acercar lo más posible el procedimiento a la realidad, creando limitaciones en los movimientos de la mano y el dedo. Así mismo indicar la posición inicial de la prueba, ya que por ahora la instrucción es dada por el evaluador de forma verbal.

Por último, diversificar las posiciones para realizar la simulación, inicialmente está en posición de litotomía, pero puede ser usado en las otras para generar mayor versatilidad en el uso del simulador. Además de incrementar el uso de próstatas con diferentes patologías para tener mayor asertividad en los diagnósticos.

Referencias bibliográficas

- (1) Canessa C. Examen proctológico y tacto rectal en el diagnóstico clínico de síntomas anorrectales. *Revista Medica Uruguay* [Internet]. 2011 [citado]; 27(2): 65-72. Disponible en: <http://www.scielo.edu.uy/pdf/rmu/v27n2/v27n2a02.pdf>
- (2) Ham A, Ornelas J. Creencias sobre el tacto rectal como medio para la detección de cáncer de próstata. *Especialidad en medicina familiar* [Internet]. 2006 [citado]; 2: 3-5. Disponible en: <http://dspace.uan.mx:8080/jspui/handle/123456789/1835>
- (3) Moya P, Ruz M, Paraqués E, et al. Efectividad de la simulación en la educación médica desde la perspectiva de seguridad de pacientes. *Revista médica de Chile* [Internet]. Abril 2017 [citado]; 145(4): 514-526. Disponible en: <https://www.scielo.cl/pdf/rmc/v145n4/art12.pdf>
- (4) Chandler P, Sweller J. Cognitive load theory and the format of instruction. *Cogn Instruct* [Internet]. 1991 [citado]; 8(4): 293–332. Disponible en; https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1207/s1532690xci0804_2
- (5) Almerana JB, Osuna JB. Realidad aumentada en la enseñanza de la medicina. *Educación Médica Superior* [Internet]. Diciembre 2018 [citado]; 34(4): 203-208. Disponible en: http://scielo.sld.cu/pdf/ems/v32n4/a07_1539.pdf
6. Hennigan TW, Franks PJ, Hocken DB, Allen-Mersh TG. Rectal examination in general practice. *BMJ* [Internet]. 1990 [citado el 20 de agosto de 2022];301(6750):478–80. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/2207403/>
7. Burdea G, Patounakis G, Popescu V, Weiss RE. Virtual reality-based training for the diagnosis of prostate cancer. *IEEE Trans Biomed Eng* [Internet]. 1999;46(10):1253–60.

Disponible en:

https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/790503?casa_token=FkLmJQfN1ugAAAAA:eIzwZVbrJjA2x7kJFE6NvKK_p_CD_phBY-

[ILoGlbH6vjc40nuhCHOlfi8tHECZwMe9UQAXriRz4](https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/790503?casa_token=FkLmJQfN1ugAAAAA:eIzwZVbrJjA2x7kJFE6NvKK_p_CD_phBY-)

8. Balkissoon R, Blossfield K, Salud L, Ford D, Pugh C. Lost in translation: unfolding medical students' misconceptions of how to perform a clinical digital rectal examination. *Am J Surg* [Internet]. 2009;197(4):525–32. Disponible en:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002961008008374>

9. Fajardo Zapata Á, Jaimes Monroy G. Conocimiento, percepción y disposición sobre el examen de próstata en hombres mayores de 40 años. *Rev Fac Med Univ Nac Colomb* [Internet]. 2016 [citado el 20 de agosto de 2022];64(2):223. Disponible en:

http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S0120-00112016000200007&script=sci_abstract&tlng=es

10. Universidad Industrial de Santander, Portafolio de laboratorio de simulación clínica, Available: chrome-

[extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/salud/documentos/labSimulaciocClinica.pdf](https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.uis.edu.co/webUIS/es/academia/facultades/salud/documentos/labSimulaciocClinica.pdf)

11. Courtenay WH. Constructions of masculinity and their influence on men's well-being: a theory of gender and health. *Soc Sci Med* [Internet]. 2000;50(10):1385–401. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0277953699003901>

12. Pardo C, Cendales R. Cancer incidence estimates and mortality for the top five cancer in Colombia, 2007-2011. *Colomb Med* [Internet]. 2018 [citado el 20 de agosto de 2022];49(1):16–22. Disponible en: http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1657-95342018000100016&script=sci_arttext&tlng=es
13. Pruebas para diagnosticar y determinar la etapa del cáncer de próstata [Internet]. Cancer.org. [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.cancer.org/es/cancer/cancer-de-prostata/deteccion-diagnostico-clasificacion-por-etapas/como-se-diagnostica.html>
14. Rodríguez J. Tacto rectal TEORÍA y PRÁCTICA [Internet]. Youtube; 2020 [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=4vpM0IDkFFY>
15. Tjiam IM, Schout BMA, Hendrikx AJM, Scherpbier AJJM, Witjes JA, van Merriënboer JIG. Designing simulator-based training: an approach integrating cognitive task analysis and four-component instructional design. *Med Teach* [Internet]. 2012;34(10):e698-707. Available from: <http://dx.doi.org/10.3109/0142159X.2012.687480>
16. Peterson LR, Peterson MJ. Short-term retention of individual verbal items. *J Exp Psychol* [Internet]. 1959;58(3):193–8. Disponible en: <https://psycnet.apa.org/fulltext/1960-05499-001.pdf>
17. Unity Technologies. Unity User Manual (2019.4 LTS) [Internet]. Unity3d.com. [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://docs.unity3d.com/es/2019.4/Manual/UnityManual.html>

18. Lowood HE. virtual reality. En: Encyclopedia Britannica. 2021.
19. BBC News Mundo. Qué es la realidad aumentada, cómo se diferencia de la virtual y por qué Apple apuesta fuertemente a ella. BBC [Internet]. el 17 de octubre de 2016 [citado el 20 de agosto de 2022]; Disponible en: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-37678017>
20. IGN. Microsoft HoloLens demonstration shows off holographic Minecraft, apps, and more [Internet]. Youtube; 2015 [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: <https://www.youtube.com/watch?v=QRQv74J7oSk>
21. J. Lores, J. J Cañas, T Granollers Saltiveru. *Diseño de sistemas interactivos centrados en el usuario*, ed. Barcelona, vol.1, UOC. 2005.
22. Joo H. A study on understanding of UI and UX, and understanding of design according to user interface change [Internet]. Ripublication.com. [citado el 20 de agosto de 2022]. Disponible en: https://www.ripublication.com/ijaer17/ijaerv12n20_96.pdf
23. Kristiadi DP, Udjaja Y, Supangat B, Prameswara RY, Warnars HLHS, Heryadi Y, et al. The effect of UI, UX and GX on video games. En: 2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom). IEEE; 2017. p. 158–63.
24. Nicolau SA, Pennec X, Soler L, Buy X, Gangi A, Ayache N, et al. An augmented reality system for liver thermal ablation: design and evaluation on clinical cases. *Med Image Anal* [Internet]. 2009 [citado el 25 de agosto de 2022];13(3):494–506. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/19282234/>

25. Kristiadi DP, Udjaja Y, Supangat B, Prameswara RY, Warnars HLHS, Heryadi Y, et al. The effect of UI, UX and GX on video games. En: 2017 IEEE International Conference on Cybernetics and Computational Intelligence (CyberneticsCom). IEEE; 2017.
26. Patzer B, Smith DC, Keebler JR. Novelty and retention for two augmented reality learning systems. Proc Hum Factors Ergon Soc Annu Meet [Internet]. 2014;58(1):1164–8. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1177/1541931214581243>
27. Sweller J. Cognitive Load Theory. En: Mestre JP, Ross BH, editores. Psychology of Learning and Motivation. San Diego, CA, Estados Unidos de América: Elsevier; 2011. p. 37–76.
28. Weichert F, Bachmann D, Rudak B, Fisseler D. Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller. Sensors (Basel) [Internet]. 2013;13(5):6380–93. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.3390/s130506380>
29. Unity Technologies. Herramientas para el desarrollo 3D, AR y VR en tiempo real [Internet]. Unity. [cited 2022 Feb 11]. Available from: <https://unity.com/es/products>
30. Olson P. Leap motion, once a virtual-reality high flier, sells itself to U.k. rival. Wall Street journal (Eastern ed) [Internet]. el 30 de mayo de 2019 [citado el 11 de febrero de 2022]; Disponible en: <https://www.wsj.com/articles/leap-motion-once-a-virtual-reality-high-flier-sells-itself-to-u-k-rival-11559210520>
31. McNeel R, Associates. Rhinoceros 3D [Internet]. www.rhino3d.com. [citado]. Available from: <https://www.rhino3d.com/es/>
32. Vuforia Engine [Internet]. Ptc.com. [cited 2022 Feb 11]. Available from: <https://www.ptc.com/en/products/vuforia/vuforia-engine>
33. Figma: the collaborative interface design tool [Internet]. Figma. [cited 2022 Feb 11]. Available from: <https://www.figma.com/>

34. Ultimaker Cura [Internet]. ultimaker.com. [cited 2022 Feb 11]. Available from: <https://ultimaker.com/es/software/ultimaker-cura>

35. NNgroup. How useful is the system usability scale (SUS) in UX projects? [Internet]. Youtube; 2021 [cited 2022 Feb 11]. Available from: <https://www.youtube.com/watch?v=6b2YFgRCVDE>