

**Propuesta de entrenador quirúrgico híbrido (físico-virtual) para  
mejoramiento de habilidades en cirugía laparoscópica basado en el  
programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery)**



**Universidad  
del Cauca®**

**Adriana González Potosí  
César Andrés Olave Fernández**

Trabajo de grado para optar el título de ingeniero en Electrónica y  
Telecomunicaciones

Director: Mg. Hermes Fabián Vargas  
Co-Director: PhD Oscar Andrés Vivas Albán

Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Popayán

2019

**Propuesta de entrenador quirúrgico híbrido (físico-virtual) para  
mejoramiento de habilidades en cirugía laparoscópica basado en el  
programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery)**

Adriana González Potosi  
César Andrés Olave Fernández

Trabajo de grado presentando a la Facultad de Ingeniería  
Electrónica y Telecomunicaciones de la  
Universidad del Cauca para la obtención del título de:  
Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones

Director:  
Mg. Hermes Fabián Vargas

Co-Director:  
PhD Oscar Andrés Vivas Albán

Universidad del Cauca  
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones  
Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control  
Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

Popayán

2019

## **Agradecimientos**

*Agradecemos a Dios por su constante guía incluso en los momentos difíciles, fue El quien nos permitió culminar con este proceso.*

*A nuestros padres, por brindarnos su apoyo y amor incondicional a lo largo del pregrado.*

*Al ing. Fabián Vargas por su orientación y apoyo para alcanzar esta meta.*

# Índice

<b>1. Introducción</b>	<b>7</b>
1.1. Herramientas software de aprendizaje en cirugía laparoscópica . . . . .	8
1.2. Entrenadores de cirugía Laparoscópica . . . . .	12
1.2.1. Entrenadores Físicos . . . . .	13
1.2.2. Entrenadores híbridos (físico-virtual) de cirugía laparoscópica. .	14
1.3. Trabajos relacionados . . . . .	15
1.4. Trabajos relacionados en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Tele- comunicaciones de la Universidad del Cauca . . . . .	21
1.5. Tabla comparativa . . . . .	22
1.6. Hipótesis . . . . .	23
1.7. Objetivos . . . . .	24
1.7.1. Objetivo General . . . . .	24
1.7.2. Objetivos específicos . . . . .	24
<b>2. Componente Hardware del Entrenador</b>	<b>25</b>
2.1. Rastreo de posición . . . . .	25
2.1.1. Diseño de prototipo . . . . .	26
2.2. Obtención de la rotación . . . . .	33
2.2.1. Acelerómetro . . . . .	34
2.2.2. Giroscopio . . . . .	35
2.3. Apertura o cierre de la pinza . . . . .	35
2.4. Procesamiento de datos . . . . .	36
<b>3. Componente Software del Entrenador</b>	<b>40</b>
3.1. Metodología del Proyecto . . . . .	40
3.2. Configuración del Equipo Scrum de Trabajo . . . . .	41
3.2.1. Roles del Equipo Scrum . . . . .	41
3.2.2. SPRINT 0 . . . . .	42
3.2.3. Story Mapping . . . . .	44
3.2.4. Sprints . . . . .	44
3.2.5. SPRINT 1 . . . . .	45
3.2.6. SPRINT 2 . . . . .	48
3.2.7. SPRINT 3 . . . . .	64
3.2.8. SPRINT 4 . . . . .	71
3.2.9. Sprint 5 . . . . .	75
<b>4. Pruebas y Análisis de Resultados</b>	<b>79</b>
4.1. Criterios de evaluación . . . . .	79
4.1.1. Tipo de evaluación . . . . .	79
4.1.2. Selección de muestras y lugar . . . . .	80
4.1.3. Elaboración de la encuesta . . . . .	81
4.1.4. Operación de la evaluación . . . . .	81
4.1.5. Protocolo en las pruebas: . . . . .	81
4.2. Interpretación y análisis de resultados . . . . .	82
4.2.1. Pregunta 1: ¿Es cómodo y agradable el uso del simulador? . . . .	83

4.2.2.	Pregunta 2: ¿La interfaz es clara, en cuanto a contenido, información y opciones? . . . . .	84
4.2.3.	Pregunta 3: ¿El entrenador cuenta con movimientos semejantes a los que se hacen con la pinza real? . . . . .	85
4.2.4.	Pregunta 4: ¿El sistema representa adecuadamente los ejercicios del programa FLS? . . . . .	85
4.2.5.	Pregunta 5: ¿Las estadísticas presentadas le ayudan a mejorar las habilidades? . . . . .	86
4.2.6.	Pregunta 6: ¿Presenta este entrenador virtual ventajas sobre el entrenador físico? . . . . .	87
4.2.7.	Pregunta 7: ¿Preferiría entrenar con este simulador, sobre el entrenador tradicional? . . . . .	87
4.2.8.	Pregunta 8: ¿El comportamiento del endoscopio virtual es similar al endoscopio real? . . . . .	88
4.2.9.	Pregunta 9: ¿Cree usted que la implementación del endoscopio es la adecuada en los ejercicios propuestos? . . . . .	89
4.2.10.	Pregunta 10: ¿Fue práctico el manejo de dos pinzas laparoscópicas? . . . . .	90
4.2.11.	Pregunta 11: ¿Fue práctico el manejo del endoscopio? . . . . .	90
4.2.12.	Pregunta 12: ¿Fue fácil el manejo de las pinzas, el endoscopio y el mouse al mismo tiempo? . . . . .	91
4.3.	Análisis por experiencia en videojuegos . . . . .	91
4.4.	Análisis por experiencia laparoscópica previa . . . . .	93
4.5.	Análisis por tiempo empleado . . . . .	95
4.6.	Análisis por experiencia con simuladores . . . . .	95
4.7.	Análisis por nivel de desarrollo profesional médico . . . . .	96
4.8.	Análisis Nivel 'Following Trajectories' . . . . .	96
4.9.	Análisis por número de aciertos . . . . .	97

## Índice de figuras

1.	Nivel Peg Transfer. . . . .	10
2.	Nivel Peg Precision Cutting. . . . .	10
3.	Nivel Lagating Loop. . . . .	11
4.	Nivel Suture with extracorporeal knot. . . . .	11
5.	Nivel Suture with intracorporeal knot. . . . .	12
6.	Entrenador físico Simulap. . . . .	14
7.	Simulador Lap Mentor. . . . .	16
8.	Simulador LapSim. . . . .	17
9.	Simulador Lap VR. . . . .	18
10.	Simulador HystSim. . . . .	19
11.	Simulador Triangulap. . . . .	20
12.	Simulador Simulap. . . . .	20
13.	Pinza laparoscópica. . . . .	23
14.	Cámara Genius Facecam 1000x. . . . .	27
15.	Cámara Genius FaceCam 2000. . . . .	27
16.	Ángulos de visión de las cámaras en ejes X,Z. . . . .	28
17.	Ángulos de visión de las cámaras en ejes X,Y. . . . .	29
18.	Área con ángulos de visión muertos. . . . .	29
19.	Posición de bombillos en prototipo. . . . .	30
20.	Área de trabajo. . . . .	30
21.	Límite del área. . . . .	31
22.	Ángulos en el prototipo. . . . .	31
23.	Segundo límite en el área. . . . .	32
24.	Pinzas y prototipo final. . . . .	33
25.	Giroscopio en pinza Laparoscópica. . . . .	34
26.	Imagen de pinza con sensor de efeco Hall. . . . .	35
27.	Conexión en Bus. . . . .	36
28.	Conexión arduino con sensores MPU6050. . . . .	37
29.	Sensor Módulo MPU6050 en la Pinza Laparoscópica. . . . .	37
30.	Ejes del Módulo MPU6050. . . . .	38
31.	Conexión Arduino con sensores de efecto Hall. . . . .	39
32.	Sensor de efecto Hall en Pinza Laparoscópica. . . . .	39
33.	Story Mapping. . . . .	44
34.	Sprint Backlog Sprint 1. . . . .	45
35.	Arquitectura proyecto. . . . .	46
36.	Sprint Backlog Sprint 2. . . . .	49
37.	Esfera objetivo. . . . .	50
38.	Visor. . . . .	51
39.	Obstáculos. . . . .	51
40.	Anillo. . . . .	52
41.	Recipientes del entorno. . . . .	52
42.	Objetos subnivel 4. . . . .	53
43.	Objetos subnivel 4 Peg Transfer. . . . .	53
44.	Escena del nivel 1 Introduction. . . . .	54
45.	Escena del nivel 2 Introduction. . . . .	55
46.	Subnivel 1 del nivel Peg Transfer. . . . .	56

47.	Subnivel 2 del nivel Peg Transfer.	57
48.	Subnivel 3 del nivel Peg Transfer.	58
49.	Subnivel 4 del nivel Peg Transfer.	59
50.	Distancias próximas a la trayectoria.	60
51.	Resultados nivel Following Trajectories.	60
52.	Traectoria 1 del nivel 1 en Following trajecories.	61
53.	Traectoria 1 del nivel 2 en Following trajecories.	61
54.	Traectoria 1 del nivel 3 en Following trajecories.	62
55.	subnivel 1 del nivel 4 Following trajecories.	63
56.	Sprint Backlog Sprint 3.	64
57.	Pinzas Virtuales.	66
58.	Paleta de colores y Rastreador.	66
59.	Objeto Seguidor.	67
60.	Escenario virtual de las cámaras.	67
61.	Indicador de Posición.	68
62.	Exactitud y tolerancia en el color tracker.	68
63.	Nivel tutorial.	70
64.	Sprint Backlog del sprint 4.	71
65.	Base de datos del nivel Introduction.	72
66.	Base de datos del nivel following trajectories.	73
67.	Escena estadísticas generales.	73
68.	Escena estadísticas de los niveles.	74
69.	Sprint Backlog del Sprint 5.	75
70.	Inicio de la aplicación.	76
71.	Menú de Registro.	76
72.	Escena de Configuración.	77
73.	Menú Estudiante.	77
74.	Menú nivel Introduction.	78
75.	Laboratorio de Simulación Universidad del Cauca.	80
76.	Resultados de la encuesta.	83
77.	Pregunta 1.	84
78.	Pregunta 2.	84
79.	Pregunta 3.	85
80.	Pregunta 4.	86
81.	Pregunta 5.	86
82.	Pregunta 6.	87
83.	Pregunta 7.	88
84.	Pregunta 8.	89
85.	Pregunta 9.	89
86.	Pregunta 10.	90
87.	Pregunta 11.	90
88.	Pregunta 12.	91
89.	Experiencia en Videojuegos.	91
90.	Experiencia en Laparoscopia.	93
91.	Experiencia en Simuladores.	95
92.	Experiencia por Nivel de desarrrollo profesional médico.	96
93.	Evolución nivel Introduction.	97
94.	Evolución nivel Peg transfer.	98
95.	Traectorias subnivel 1	109
96.	Traectorias subnivel 2	109

97.	Trayectorias subnivel 3 . . . . .	110
98.	Trayectorias subnivel 4. . . . .	110
99.	Área de las cámaras virtuales. . . . .	111
100.	Escala de espacio . . . . .	112
101.	Objeto a seguir por pinza. . . . .	112
102.	Casos de Uso. . . . .	113
103.	Diagrama de Secuencia-Resultados Estudiantes. . . . .	113
104.	Diagrama de Secuencia-Resultados Docentes. . . . .	114
105.	Diapositiva-Presentación. . . . .	115
106.	Diapositiva-Presentación. . . . .	115
107.	Diapositiva-Tutorial. . . . .	116
108.	Diapositiva-Introduction. . . . .	116
109.	Diapositiva-Peg Transfer. . . . .	117
110.	Diapositiva-nivel Trajectories. . . . .	117
111.	Diapositiva-Controles. . . . .	118
112.	Diapositiva-Estadísticas. . . . .	118
113.	Diapositiva-Conexión. . . . .	119
114.	Diapositiva-Advertencias. . . . .	119
115.	Encuesta Datos Personales. . . . .	120
116.	Encuesta SL-SIM v2. . . . .	121
117.	Respuestas totales participantes. . . . .	122
118.	Menú inicio. . . . .	123
119.	Menú introduction. . . . .	123
120.	Menú peg transfer. . . . .	124
121.	Menú trajectories. . . . .	124
122.	Menú docente. . . . .	125
123.	Menú buscar estudiantes. . . . .	125
124.	Menú configuraciones. . . . .	126
125.	Menú registro. . . . .	126
126.	Residentes primer año. . . . .	128
127.	Residente de primer año. . . . .	128
128.	Residente de primer año. . . . .	129
129.	Residente de segundo año. . . . .	129
130.	Residente de segundo año. . . . .	130
131.	Residente de tercer año. . . . .	130



## Índice de tablas

1.	Tabla comparativa de simuladores . . . . .	22
2.	Equipo de trabajo SCRUM. . . . .	42
3.	Sprint Planning Sprint 1. . . . .	45
4.	Comparación de ejercicios. . . . .	47
5.	Sprint Planning Sprint 2. . . . .	49
6.	Sprint Planning Sprint 3. . . . .	64
7.	Sprint Planning Sprint 4. . . . .	72
8.	Sprint planning del Sprin 5. . . . .	75
9.	Escala Likert. . . . .	80
10.	Preguntas de la encuesta. . . . .	82
11.	Introduction con experiencia en videojuegos. . . . .	92
12.	Análisis nivel Peg Transfer con Exp. en Videojuegos. . . . .	92
13.	Análisis nivel Introduction por Experiencia laparoscópica previa. . . . .	94
14.	Análisis nivel Peg Transfer por Experiencia Laparoscopica previa. . . . .	94
15.	Puntajes registrados . . . . .	127

# Capítulo 1

## 1. Introducción

La medicina (palabra derivada de *mederi*, que significa 'curar', 'medicar') es una ciencia dedicada al estudio de la vida y la salud con el fin de tratar condiciones del cuerpo humano [1]. La medicina permanece en constante investigación con el fin de encontrar solución a los problemas de salud que se manifiestan continuamente en las personas. Los doctores, responsables de velar por el bienestar del paciente, se preparan constantemente para desempeñar un buen trabajo, por tal razón, las universidades e instituciones encargadas de la educación de los profesionales en la salud, requieren continuamente de herramientas que faciliten y mejoren la calidad de su formación y posteriormente su labor como profesionales. Es en este punto, donde la ingeniería por medio de la tecnología brinda un apoyo a la implementación de herramientas biomédicas que faciliten y dinamicen el aprendizaje de los estudiantes y profesionales de la salud.

Para el tratamiento de muchas condiciones del organismo se requiere intervención quirúrgica, es decir, cirugía donde se emplean procedimientos manuales. Existen diversas formas de realizar estos procesos, una de ellas consiste en realizar una cirugía a "cielo abierto", ésta técnica cuenta con gran eficacia, pero en el proceso de la recuperación genera algunas complicaciones. Se registran estudios que demuestran estadísticamente, cómo un porcentaje de pacientes a los cuales se les ha efectuado Apendicectomía<sup>1</sup> a cielo abierto, sufren en dicha fase postoperatoria de dolores producidos por Seroma<sup>2</sup> o Leucocitosis<sup>3</sup> con desviación a la izquierda, generando estancias hospitalarias prolongadas y como consecuencia incremento en los costos [2].

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, la cirugía laparoscópica o cirugía de mínima invasión (CMI) es una solución eficaz permitiendo mejoras en los resultados adversos producidos por una cirugía a cielo abierto, debido a que la operación se realiza con menor trauma [3]. Una investigación realizada por K. C. Díaz, muestra las complicaciones que pueden ocurrir al realizarse una Apendicetomía Laparoscópica, evidenciando de esta manera el escaso porcentaje de personas que sufrieron efectos adversos [2] y cómo el tiempo de hospitalización y recuperación disminuyeron al igual que los gastos [3]. Es por ello que las ventajas de la técnica Laparoscópica la han convertido en el método ideal a usarse para cirugías en la actualidad [4].

---

<sup>1</sup>Apendicectomía: Es una intervención quirúrgica la cual se realiza para remover un apéndice infectado(apendicitis).

<sup>2</sup>Seroma: Es una complicación que puede surgir después de una operación, se caracteriza por la acumulación de líquido por debajo de la piel, próximo a la cicatriz quirúrgica.

<sup>3</sup>Leucocitosis: Es una enfermedad que ocurre cuando el número de glóbulos blancos en la sangre supera los niveles normales.

La CMI es utilizada en los siguientes tipos de cirugías: cirugía laparoscópica diagnóstica, encargada de definir la causa de problemas abdominales; cirugía laparoscópica pélvica o ginecológica que se ocupa de diagnosticar y recomendar la realización de algún tipo de operación ,y finalmente la cirugía laparoscópica intra-abdominal, que permite la ejecución de apendicetomías y hernias [5]. En estas intervenciones es importante que el cirujano a cargo, efectué una serie de pasos que se mencionarán en su debido orden, preparar al paciente, distender el abdomen, acceder a la cavidad, visualizar la cavidad e iniciar la operación [6]. Cada uno de estos ciclos cuentan con especificaciones para su desarrollo, por lo cual es importante indicar que, para realizar este procedimiento los cirujanos necesitan un estricto y detallado entrenamiento para el uso adecuado del instrumental que se introduce en el abdomen del paciente [4]. Por tal razón, gracias a las nuevas tecnologías, la preparación de los cirujanos en CMI se ha tornado más sencilla, actualmente existen entrenadores híbridos (poseen interfaz hardware con visualización virtual) que desarrollan actividades en escenarios virtuales con instrumentos reales, brindando la posibilidad de ganar experiencia y habilidades al cirujano en un menor tiempo.

Considerando las ventajas que ofrece la CMI, como la disminución del dolor postoperatorio, reducción de los días de hospitalización y disminución de complicaciones, a nivel formativo se ha vuelto indispensable el uso de entrenadores físico-virtuales en estudiantes que cursan esta especialidad [4], pero debido a su elevado costo [6], las instituciones universitarias no pueden adquirir dichos simuladores. Por este motivo, deciden adquirir entrenadores físicos económicos que, aunque proporcionan mejoras en las habilidades del cirujano, no se comparan con los resultados obtenidos por los dispositivos de mayor costo como en el caso de los entrenadores híbridos (tipo físico-virtual).

Para llevar acabo los objetivos citados, es indispensable que el simulador a utilizar cumpla con un programa de entrenamiento en cirugía laparoscópica, con el fin de garantizar por medio de ejercicios que el aprendizaje en cirugía laparoscópica sea exitoso[3].

El entrenamiento de los estudiantes enfocados en cirugía laparoscópica debe ser orientado mediante un currículo estructurado que permita la obtención de habilidades y destrezas, los cuales son necesarios para realizar movimientos precisos que permitan ejecutar un procedimiento quirúrgico con seguridad. Los simuladores físicos o virtuales para cirugía laparoscópica son los encargados de implementar dichos programas, con el propósito de entrenar habilidades básicas, sutura, Cirugía General, Ginecológica y Urológica, logrando así un progreso del estudiante y un procedimiento eficaz.

## **1.1. Herramientas software de aprendizaje en cirugía laparoscópica**

Existen algunos programas de entrenamiento en cirugía laparoscópica usados en simuladores que se mencionarán a continuación.

- El sistema Inanimado de McGil [7] para entrenamiento y evaluación de habilidades laparoscópicas MISTELS( *McGill Inanimate System for Training and Evaluation of Laparoscopic Skills*), es el primer modelo válido de simulación que tiene aplicación nacional en Estados Unidos, este cuenta con 5 tareas estandarizadas y

una puntuación objetivo para evaluación del estudiante. Para su estudio de confiabilidad y estabilidad, se eligieron 12 personas las cuales efectuaron dos tipos de prueba en una caja entrenador de cirugía laparoscópica, donde la evaluación del desempeño de los participantes se realizó teniendo en cuenta parámetros como la velocidad y la precisión del ejercicio efectuado. Finalmente, las puntuaciones totales fueron de 0.998 excediendo el umbral de 0.8, esto define la fiabilidad del programa.

- El programa de entrenamiento Habilidades quirúrgicas Laparoscópicas (*LSS, Laparoscopic Surgical Skills*) [8], es una propuesta planteada por la Asociación Europea de cirugía Endoscópica (EAES), que busca por medio del estándar acreditar a los cirujanos en cirugía laparoscópica, logrando de esta manera, eficacia y seguridad a la hora de ejecutar un procedimiento en cirugía mínimamente invasiva. LSS es el primer estándar en efectuar la evaluación del cirujano por medio del simulador, teniendo en cuenta conocimientos y habilidades. El programa LSS cuenta con una serie de pruebas divididas en dos grados, el Grado 1 comprende tres niveles, que incluyen las habilidades básicas laparoscópicas y los procedimientos esenciales, el Grado 2 se compone de procesos laparoscópicos avanzados, evaluados de manera separada. Por último, es importante mencionar que los cursos acreditados LSS, se encuentran en diversos centros de formación en Europa.
- El programa de entrenamiento Fundamentos de Cirugía Laparoscópica FLS (*Fundamentals of Laparoscopic Surgery*) [9], es una propuesta desarrollada por la sociedad Americana de Cirujanos de Endoscopia Gastrointestinal, y avalada por el Colegio Americano de Cirujanos (ACS). El programa incluye un módulo didáctico, y un “Sistema Inanimado McGill (MISTELS), que permiten conocer y mejorar las habilidades del cirujano. El FLS se ha convertido en el estándar con mayor fuerza para la evaluación de las destrezas en cirugías de mínima invasión, por tanto, se realizó un estudio con el fin de demostrar si existen mejoras en el rendimiento de los cirujanos después de llevar a la práctica su formación mediante el FLS. El material didáctico utilizado para el estudio incorpora tutoriales y 5 tareas pertenecientes al MISTELS, las cuales se desarrollaron en un simulador (caja entrenador). Además, entre las métricas de rendimiento se define un puntaje de aprobación para diferenciar las capacidades de los evaluados. Los resultados obtenidos fueron los siguientes: de los 17 cirujanos elegidos, 16 finalizaron con las evaluaciones; adicionalmente, las primeras puntuaciones fueron semejantes en el personal entrenado y no entrenado, donde ninguno cumplió con el nivel requerido. En la segunda prueba, se manifiesta como todos los sujetos aprueban el FLS, solo 3 de 8 no cumplen con el objetivo. De esta manera se confirma, como la implementación del programa influye positivamente en el aprendizaje del cirujano.

El programa FLS establece 5 ejercicios fundamentales para el mejoramiento de las habilidades en cirugía laparoscópica y un nivel introductorio, los cuales se mencionarán a continuación:

## 0. Introduction:

Nivel encargado de realizar la familiarización con los movimientos del endoscopio.

## 1. Peg transfer:

Levantar 6 objetos con la pinza en la mano no dominante y luego transferir el objeto a la mano dominante. Seguidamente se debe colocar el objeto en una clavija al lado derecho del tablero. Transferidos los 6 objetos se levantan nuevamente, se transfieren a la mano no dominante y se colocan en las clavijas del lado izquierdo del tablero. El ejercicio debe ser realizado en un tiempo límite de 300 segundos. Ver figura 1.



Figura 1: Nivel Peg Transfer.  
Fuente: [9]

## 2. Precision Cutting :

Cortar una figura circular en una tela, es un ejercicio cronometrado para lo cual se tiene un tiempo límite de 300 segundos y se genera una penalización por cualquier desviación de la línea que delimita el círculo. Ver figura 2.

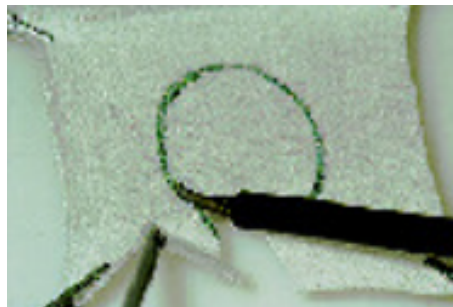


Figura 2: Nivel Peg Precision Cutting.  
Fuente: [8]

### 3. Lagating Loop:

Se debe colocar un clip para sujetar una espuma que se muestra en la figura 3, de tal manera que los apéndices queden libres. En esta tarea se debe colocar un lazo de ligadura que ajuste el apéndice. Se genera penalización si el nudo no es seguro. Para este ejercicio se establece un tiempo máximo de 420 segundos.

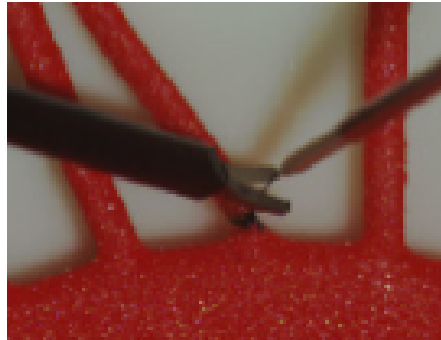


Figura 3: Nivel Lagating Loop.  
Fuente: [8]

### 4. Simple Suture with extracorporeal Knot:

La finalidad de este nivel es realizar una sutura que requiera de una puntada simple a través de dos marcas, para finalmente atar la sutura extracorporalmente en un máximo de 420 segundos . Ver figura 4.

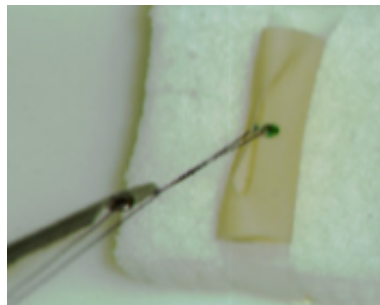


Figura 4: Nivel Suture with extracorporeal knot.  
Fuente: [8]

### 5. Simple suture with intracorporeal Knot:

Esta tarea requiere que se coloque una sutura con precisión a través de dos marcas, para luego atar un nudo intracorporeo. El ejercicio debe realizarse en un tiempo máximo de 600 segundos. Ver figura 5



Figura 5: Nivel Suture with intracorporeal knot.  
Fuente: [8]

El argumento presentado en los párrafos anteriores, permite desarrollar el planteamiento del presente proyecto, el cual considera la opinión y asesoría del Departamento de Cirugía del Hospital Universitario San José de Popayán, Cauca, que menciona la importancia de emplear entrenadores virtuales, debido a que el progreso de los estudiantes en el manejo de herramientas quirúrgicas y el endoscopio en una CMI, puede ser evidenciado, y de igual manera, evaluado satisfactoriamente por el docente. Teniendo en cuenta que los entrenadores para cirugía Laparoscópica en las instituciones universitarias son una necesidad, el propósito del proyecto es diseñar un prototipo de entrenador de CMI que cuente con los requisitos necesarios para mejorar las habilidades del cirujano, adicionalmente que sea de bajo costo puesto que los simuladores comerciales son poco asequibles, por lo cual surge la propuesta de emplear un prototipo entrenador de Cirugía laparoscópica, desarrollado en la Universidad del Cauca(denominado SL-SIM v1), al cual se le ejecutarán mejoras implementando ejercicios que hacen parte del programa FLS, y se adicionará una herramienta imprescindible que hace parte del sistema de visión, como lo es el endoscopio, permitiendo de esta manera aumentar los beneficios del entrenamiento, y llevando un control de evaluación del proceso. Adicionalmente, se implementará un sistema de rastreo de las pinzas debido a las deficiencias del prototipo anterior.

## 1.2. Entrenadores de cirugía Laparoscópica

Tradicionalmente el entrenamiento para realizar cualquier tipo de cirugía se ha efectuado de manera presencial, por tanto, los estudiantes asisten a los especialistas al momento de efectuar una intervención. El problema de implementar este modelo de formación es que se torna bastante extenso, la curva de aprendizaje es larga puesto que el residente solo puede efectuar una cantidad límite de intervenciones, sin poder practicar una competencia específica hasta lograr su dominio, inclusive los cirujanos en formación son limitados en los centro médicos [10].

La enseñanza a llevar a cabo con el fin de evitar los errores quirúrgicos cometidos por un cirujano en proceso, es la simulación, la cual se encarga de imitar escenarios clínicos y permitir el control en un procedimiento.

Implementar la simulación como método de entrenamiento trae consigo diversas ventajas. A continuación, se mencionarán algunas:

- Reducción del tiempo de formación de los estudiantes de cirugía laparoscópica.
- Aprendizaje de diferentes tipos de cirugía.
- Participación masiva por parte de los residentes.
- Los especialistas pueden experimentar procedimientos que no han realizado.

Por otra parte, los entrenadores de cirugía laparoscópica cuentan con ejercicios que cumplen con metodologías de preparación, y permiten al estudiante la obtención de habilidades y destrezas requeridas para realizar una Cirugía Mínimamente Invasiva, entre ellas están:

- Percepción espacial.
- Control del efecto palanca o fulcrum.
- Coordinación ojo-mano.
- Coordinación bimanual.
- Manipulación de tejidos.
- Percepción táctil o háptica.
- Uso de energía (energía monopolar, bipolar, disección ultrasónica, etc.).

Hoy en día existen diferentes tipos de simuladores que difieren en el uso de su tecnología, costo, servicios y programas de entrenamiento entre los que se encuentra el FLS, LSS Y MISTELS. Los simuladores de entrenamiento en cirugía laparoscópica se clasifican en físicos o virtuales, en donde los últimos mencionados han tenido gran repercusión, puesto que al utilizar los dos métodos de educación generan mayor número de beneficios.

### **1.2.1. Entrenadores Físicos**

Un entrenador físico es una caja de entrenamiento de bajo costo que funciona con el propósito de ejercitar habilidades básicas en laparoscopia y aprender procedimientos quirúrgicos fuera de la sala de operaciones. Este tipo de simulador se encuentra equipado con una cámara de vídeo, un laparoscopio, una cámara web o espejo que permite una visión indirecta e instrumentos quirúrgicos insertados por ciertos orificios, que permiten la realización de diferentes ejercicios básicos [11].

Los simuladores físicos han permitido al estudiante aprender en un entorno sin tensiones y en donde se pueden repetir constantemente los ejercicios sin necesidad de estar en instalaciones especiales, logrando así corregir errores y mejorar el desempeño del aprendiz. Además, es importante mencionar que los entrenadores con iluminación integrada son los más útiles para realizar el entrenamiento laparoscópico. Entre algunos de los simuladores físicos que aún se encuentran en el mercado está Simulap, el cual posee un sistema de iluminación y uno de adquisición de la imagen [12]. Ver figura 6



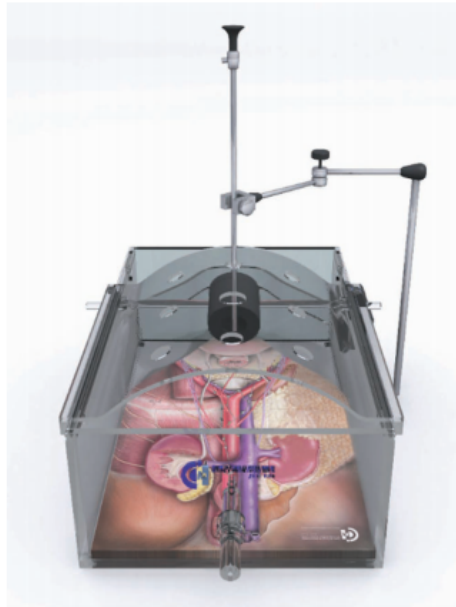


Figura 6: Entrenador físico Simulap.  
Fuente: [13]

### 1.2.2. Entrenadores híbridos (físico-virtual) de cirugía laparoscópica.

Un entrenador híbrido presenta características de simulador físico a lo que se adiciona la realidad virtual, este propicia la evaluación del estudiante almacenando sus datos y haciendo posible de esta manera que el educador pueda observar el rendimiento del individuo al enfrentarse a una tarea laparoscópica [14].

Los simuladores híbridos cuentan con innumerables ventajas, disminuyen el tiempo de formación del estudiante dado que permiten repetir los ejercicios del entrenador cuantas veces sean necesarias, contribuyendo de igual manera con el cuidado del paciente ya que se evita la falta de experiencia clínica. Conjuntamente, los entrenadores virtuales ponen en práctica ejercicios que cumplen con un esquema específico de formación, buscando por medio de su versatilidad, que el estudiante pueda desarrollar e incrementar sus habilidades para realizar un correcto procedimiento.

Lo mencionado anteriormente permite inferir que los entrenadores que utilizan realidad virtual, facilitan el aumento de los resultados positivos obtenidos por los alumnos, ya que favorecen el aprendizaje al trabajar en un entorno más dinámico, y usar variedad de instrumentos quirúrgicos utilizados en la vida real.

Existen algunos simuladores virtuales que permiten obtener habilidades básicas de laparoscopia, otros que utilizan escenarios quirúrgicos específicos y finalmente simuladores que utilizan los dos tipos de características mencionadas anteriormente. Los simuladores enfocados en las habilidades básicas buscan que el practicante aprenda las bases de los procedimientos que forman parte de la primera etapa de entrenamiento, como lo son afianzar conocimientos teóricos, adquirir destrezas manuales y familiarizarse con las herramientas. Algunos entrenadores básicos son: SIMENDO Laparoscopy, VBLasT, SINERGIA, entre otros. Los simuladores con escenarios específicos reproducen una cirugía en particular permitiendo un manejo avanzado del procedimiento que se está realizando, se mencionan algunos entrenadores como: Empédocles y V-Band Simulator. Por último, entre los simuladores híbridos que permiten el entrenamiento

de las habilidades básicas y de cirugías en particular están: LapSim de Surgical Science, Lap Mentor de Symbionix Corp, LapVR de CAE healthcare y SEP-SimSurgery Education Plataform, algunos de ellos serán mencionados más adelante.

Los entrenadores híbridos (físico-virtual) recrean diferentes tipos de escenarios y permiten realizar diversos tipos de ejercicios que en su mayoría integran el programa de entrenamiento FLS como base para el aprendizaje en cirugía laparoscópica.

### 1.3. Trabajos relacionados

En la actualidad, los entrenadores de CMI han cobrado gran importancia, ya que permiten la adquisición de destrezas que son indispensables, y así mismo aumentan la seguridad del paciente.

Por ello, es significativo mencionar algunos de los simuladores diseñados, que han generado un aporte a la sociedad con el avance de las tecnologías usadas, entre ellos están:

- El simulador Lap Mentor 1 [15] apreciado en la figura 7, es un entrenador físico-virtual, capaz de diferenciar el nivel de experiencia de personas que realicen una Colectomía<sup>4</sup> Laparoscópica, antes y después de la práctica. Con el fin de comprobar los resultados del simulador, se efectuó el estudio de una cantidad de personas que poseen diferentes habilidades (novatos, estudiantes de medicina y residentes). La evaluación en esta herramienta se realizó generando una puntuación, que tuvo en cuenta parámetros como la velocidad con que se efectúa el ejercicio, la precisión al realizar el entrenamiento y el tiempo consumido. El estudio ejecutado al conjunto de personas, concluye que el Lap Simulator Mentor 1, distingue el nivel de los participantes con diferentes destrezas, el cambio que surge después de la preparación y el aumento de capacidades al llevar a cabo varias repeticiones de las tareas implementadas en el simulador, donde se incluyen: 9 tareas de habilidad, 4 tareas de procedimiento para Colectomía y 6 situaciones para la Colectomía Laparoscópica.

---

<sup>4</sup>Colectomía: Es una operación quirúrgica que consiste en la extirpación de la vesícula biliar.



Figura 7: Simulador Lap Mentor.

Fuente: [16]

- Derek T. Woodrum y otros, desarrollaron un trabajo usando el simulador LapSim [17], que se aprecia en la figura 8. LapSim es un entrenador de cirugía laparoscopia físico-virtual, utilizado para diferenciar a los estudiantes novatos, de los alumnos con mayor experiencia en cirugías mínimamente invasivas. En este estudio se tomó como muestra 3 grupos diferentes de estudiantes (médicos, residentes y estudiantes de la facultad de cirugía laparoscópica) quienes ejecutaron 11 repeticiones de 6 tareas, entre las cuales se incluyen la coordinación, la manipulación del instrumento, agarre, levante y por otro lado agarre, corte, y aplicación de clips; de esta manera se determinó el rendimiento, analizando 6 o 10 parámetros por tarea y comparando los resultados por grupos. El estudio demuestra la capacidad que tiene el simulador LapSim para diferenciar entre los alumnos con diferente experiencia en cirugía laparoscópica, solo al realizar el análisis de algunos parámetros con mayor sensibilidad.



Figura 8: Simulador LapSim.

Fuente: [18]

- Umar Shariff y otros, diseñaron una revisión estructurada de artículos publicados en las bases de datos SCOPUS, EMBASE y Pubmed/ MEDLINE entre 1992 y noviembre de 2014, con la finalidad de determinar la eficiencia del uso de la multimedia como un recurso educativo en el entretenimiento, pero especialmente en la evaluación de procedimientos quirúrgicos. Los parámetros que se utilizaron para esta investigación fueron: las habilidades quirúrgicas, el contenido educativo, el diseño del estudio y los resultados. Se eligieron 21 estudios entre los cuales 7 no contaban con control aleatorio y los otros 14 si contaban con dicho control. Las habilidades cognitivas fueron evaluadas en 4 estudios sin control y en 9 con control aleatorio. El estudio en el que la multimedia se vió asociada con mayor significancia en habilidades técnicas y habilidades cognitivas fue estudios controlados. De lo anterior se concluyó, que aplicar la multimedia como recurso educativo facilita la adquisición de habilidades técnicas y cognitivas.
- Pagador, desarrolla, valida y presenta metodologías y dispositivos para el entrenamiento laparoscópico, utilizando visión artificial y robótica [19]. En el trabajo se realizan 3 productos: Augmented Reality Haptic (ARH), el cual emplea un soporte para acoplar el receptor del sistema de seguimiento al instrumental laparoscópico, y el mecanismo para utilizar los resultados obtenidos en el sistema de seguimiento. El dispositivo Electronic Device for Endosurgical Skills Training (EDEST) es un sistema electrónico diseñado para evaluar la realización de maniobras laparoscópicas de nivel básico como la triangulación y coordinación. El software de procesamiento de vídeo Video-based Laparoscopic Assessment (Vid-LA), persigue el análisis del vídeo laparoscópico para evaluar el procedimiento quirúrgico enfocándose en el análisis del entrenamiento y de las tareas básicas. Los tres productos son respectivamente validados mostrando un desempeño alto en sus funcionalidades, para luego proceder con su integración y dar constitución al entrenador laparoscópico. El autor concluye que la situación quirúrgica debería considerarse solamente para las primeras fases del entrenamiento; la práctica continua y voluntaria, en programas de entrenamiento individuales, es el camino para alcanzar las habilidades adecuadas.

- Naoki Iwata, Michitaka Fujiwara y otros, realizaron la evaluación del simulador físico-virtual para cirugías laparoscópicas LapVR [20] que se muestra en la figura 9. El estudio de validez es realizado para cirujanos y residentes quirúrgicos japoneses, para ello se tomaron muestras de 3 grupos de estudiantes, divididos en residentes sin ningún tipo de experiencia en laparoscopia, estudiantes junior's, y finalmente los expertos. Para la evaluación de rendimiento, se tuvieron en cuenta parámetros para la transferencia de trazabilidad, como el tiempo total y promedio para realizar un proceso, y la distancia trazada por la mano no dominante; por otro lado, para el corte, se toman en cuenta parámetros como el número de cortes estropeados y la distancia trazada por la mano no dominante. Los resultados obtenidos, muestran diferencias relevantes entre el grupo de expertos y residentes, lo cual permite evidenciar cómo el simulador LapVR, está en la capacidad de diferenciar el nivel de experiencia de los usuarios.



Figura 9: Simulador Lap VR.  
Fuente: [21]

- Felix Neis y otros, realizaron la evaluación del simulador físico – virtual de cirugía Histeroscópica <sup>5</sup> (Cirugía Ginecológica) HystSim [22] que se aprecia en la figura 10. El estudio se enfoca en la evaluación de la curva de aprendizaje entre los cirujanos Histeroscópicos con y sin experiencia, por lo cual se realiza una selección de residentes y consultores, los cuales difieren en el nivel de conocimiento. Fueron clasificados en dos grupos, básico y avanzado, donde realizaron 3 repeticiones de dos actividades para obtener una puntuación, las cuales son: resección de pólipos en el lado izquierdo de la pared uterina, y resección de mioma<sup>6</sup> en la línea media de la pared posterior del útero. El objetivo, fue la resección completa de la patología, y la alineación de la cámara, al aumentar el número de repeticiones de la actividad, se muestra cómo aumentan las habilidades necesarias en una cirugía Histeroscópica. En el mercado, se encuentran otros simuladores de intervención

<sup>5</sup>Histeroscopia: Procedimiento para examinar el interior del útero(matriz), es una delgada y ligera herramienta (endoscopio) que envía imágenes del interior del útero a un monitor de video.

<sup>6</sup>Mioma: Es un tumor benigno del tejido muscular.

Histeroscópica, entre ellos está el HYSTERO-X, cuya finalidad es ayudar a los estudiantes y médicos a desarrollar habilidades quirúrgicas. También se encuentra el S607, que cuenta con habilidades especiales para remover pólipos, y para el manejo de palpación con aspecto interno y externo.



Figura 10: Simulador HystSim.  
Fuente: [23]

- García Ruiz y otros, realizaron un estudio del simulador quirúrgico laparoscópico “Triangulap” basado en un dispositivo electrónico (tableta) para uso individual, donde se sustituye la cámara laparoscópica por un delicado lente y fuente de luz propia de menor costo, la cual cuenta con una imagen de alta definición bastante parecida a las cámaras laparoscópicas que son usadas en los quirófanos. El entrenador laparoscópico cabe perfectamente en un cajón de escritorio, pesa aproximadamente 1.1 kg por lo cual es un dispositivo completamente portable, lavable y profesional. Para evaluar su eficacia, se registraron 10 cirujanos experimentados que utilizaron el simulador durante 30 minutos, y respondieron una encuesta que dio a conocer su opinión en cuanto a calidad, funcionalidad, costo y grado de semejanza con la realidad. Todos opinaron que el simulador Triangulap es práctico, portable y útil para el desarrollo de destrezas [24]. Ver figura 11



Figura 11: Simulador Triangulap.  
Fuente: [24]

- Justo Janeiro y otros [25], efectuaron la evaluación del simulador físico de cirugía laparoscópica Simulap que se puede observar en la figura 12. El simulador fue probado por cirujanos con experiencia en cirugía endoscópica, quienes han enseñado el manejo de simuladores físicos. Se efectuó un cuestionario de 11 preguntas a las cuales se les dio un puntaje de 0 a 4 con el fin de definir calidad y suficiencia del entrenador. Seguidamente se dictó un curso teórico de sutura en cirugía endoscópica a 18 estudiantes residentes y 12 cirujanos sin experiencia en cirugía endoscópica, quienes realizaron 7 ejercicios diferentes. Los cirujanos efectuaron seis sesiones de prácticas de 30 minutos y se tomó el tiempo en segundos del primer y último ejercicio.

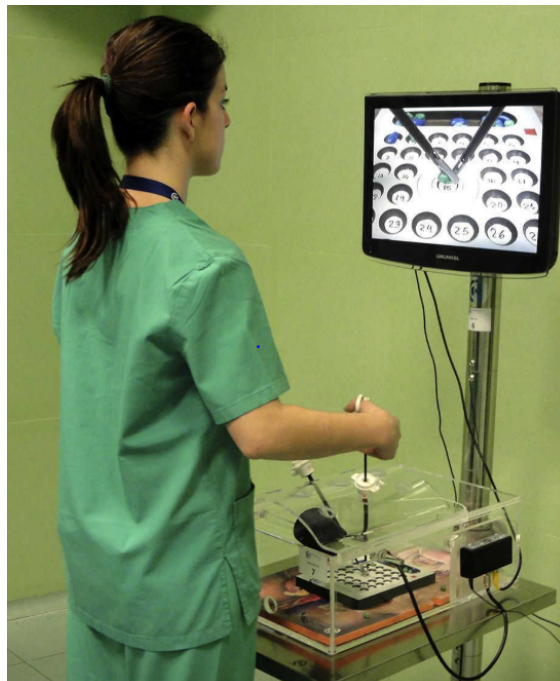


Figura 12: Simulador Simulap.  
Fuente: [26]

## 1.4. Trabajos relacionados en la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca

En la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, se han realizado proyectos robóticos y simuladores aplicados a la CMI, con el objetivo de mejorar la práctica del médico cirujano. A continuación se mencionarán algunos:

Vivas y Guzmán, ejecutaron la construcción de un software llamado RobotSurgery [27], con la capacidad de manejar tres robots quirúrgicos en un entorno virtual al momento de realizar una CMI (colecistectomía). Entre ellos se encuentran un robot Hibou, diseñado para el soporte del endoscopio en el interior del abdomen del paciente y dos robots LapBot, capaces de manejar los instrumentos quirúrgicos (los tres robots son manipulados mediante un joystick). Para la evaluación del prototipo, la población objetivo fueron estudiantes de ingeniería y docentes, los cuales utilizaron la herramienta. Se realizó una encuesta con el fin de conocer su funcionalidad, facilidad de uso y utilidad del software. Los resultados fueron favorables.

Vivas y Vargas, efectuaron una Colecistectomía Laparoscópica implementando la manipulación de tres robots (dos robots Lapbot y un robot Hibou) [28] virtuales, que manejan interfaces naturales (gestos con las manos para desplazar los robots) por medio de un Leap Motion. El propósito es evidenciar los beneficios presentados en un simulador de CMI al usar este tipo de interfaces. Para ello, 13 estudiantes de especialización de Cirugía general de la Universidad del Cauca, llevaron a cabo el procedimiento, y seguidamente respondieron un cuestionario, con el cual se evidenciaron mejoras en la precisión, agilidad y velocidad del usuario al realizar diferentes tareas.

Guástar y otros, mostraron la implementación de un simulador quirúrgico virtual para cirugías laparoscópicas [29], que permite el entrenamiento de los nuevos cirujanos. Para la realización de la CMI, utilizaron tres asistentes robóticos, un portanendoscopio (robot Hibou) y dos quirúrgicos. En esta ocasión, para completar el procedimiento de una Colecistectomía, se utilizó un robot quirúrgico adicional al Lapbot, capaz de portar instrumentos, llamado robot PA-10. Asimismo, se ejecutaron algoritmos de deformación que modifican los órganos al contacto con el órgano terminal del robot.

Galindez y Urbano, efectuaron la implementación de un prototipo de entrenador quirúrgico físico-virtual, para operaciones de laparoscopia, llamado SL-SIM v1 [30]. Este proyecto se ejecutó con el objetivo, de integrar las nuevas tecnologías al entrenamiento de los cirujanos y minimizar costos en la adquisición de este tipo de herramientas. El entorno físico del simulador trabaja con una pinza laparoscópica y el entorno virtual trabaja en el entorno Unity 3D. Para la evaluación del prototipo, se realizaron pruebas a estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Cauca, que variaban su experiencia en cirugías laparoscópicas. Por último, se observó que a mayor experiencia mejor desempeño y el prototipo tuvo gran aceptación por parte de los participantes.



## 1.5. Tabla comparativa

A continuación, se encuentra la tabla 1, realizada con el fin de identificar cualidades de algunos simuladores de entrenamiento en cirugía laparoscópica presentes en el mercado. Para la realización de la tabla, se tiene en cuenta que los datos de algunos simuladores no se encuentran disponibles.

Simuladores	Tipo	Habilidades que desarrolla	Evaluación	Tecnología	Pruebas Estadísticas	# de usuarios de la prueba	Fecha del estudio	Metodología
SEP	Físico-Virtual	-Mejoras en habilidades de navegación. -Manipulación de tejidos bimanual		-Software SPSS (Versión 16.0). -Hardware SIMPACK	-Friedman's ANOVA. -Corrección de rangos Wilcoxon. -Prueba de Mann-Whitney	-14 Médicos pasantes y 15 cirujanos laparoscópicos	19/09/2010	-Cuestionario emorgraphics and experience -Tareas y evaluación.
LapVR de CAE	Físico-Virtual	-Mejoras en rendimiento psicomotor. -Coordinación ojo-mano.	-Evaluación Global Operativa de Habilidades. laparoscópicas.(GOALS) -Evaluación Objetiva Estructurada de Habilidades Técnicas. (OSATS)	No reportado	No reportado	44 médicos	29/06/2010	-Clasificación en escala anclada Likert de 5 puntos.
LAP Mentor	Físico-Virtual	-Sensibilidad y coordinación.	9 Parámetros (administrados) -Velocidad de ejecución. -Precisión de maniobras.	Software SPSS (versión 13.0)	-Prueba Mann-Whitney.(Datos continuos) -Prueba Kruskal-Wallis.(rendimiento) -Prueba Wilcoxon. (dif. Valor final e inicial)	27 cirujanos	31/10/2007	-Test inicial. -Práctica de 30min por 15 días. (5 rep. por prueba) -Test final.
Laparo Aspire	Físico-Virtual	-Habilidades psicomotoras.	6 módulos. -Cortes, suturas y enhebrado.	Software Laparo Aspire	No reportado	No reportado	No reportado	No reportado
VBLast	Físico-Virtual	-Habilidades psicomotoras.	10 Pruebas -Rendimiento. -Desempeño. -Evaluación de psicomotricidad.	No reportado	-Evaluación con "Likert". -Análisis de varianza (ANOVA). -Criterio de inf. (Akaide(AIC))	27 médicos y cirujanos	25/06/2016	-Solución demografía. -Transferencia de PEG(10 rep)
LapSim	Físico-Virtual	-Coordinación. -Navegación. (movimiento-espacio)	6-10 Parámetros. (por tarea) -Habilidad -Rendimiento (por tarea)	Software SPSS (versión 13.0)	-Prueba Post Hoc -Test de <u>Bonferroni</u> .	54 cirujanos	30/03/2005	-10 rep. por tarea. (promedio)
Laptrain	Físico-Virtual	-Coordinación. -Navegación. (movimiento-espacio)	-Evaluación Global Operativa de Habilidades laparoscópicas.(GOALS)	No reportado	-Estadística descriptiva. -Pruebas t pareadas. -Prueba Wilcoxon.	64 participantes	6/11/2017	-Pre-test. -6H de entrenamiento. -Post-test
HystSim	Físico-Virtual	-Habilidades histeroscópicas. -Habilidades psicomotoras.	3 rondas -Tiempo por ejercicio.	Software HystSim v.1.5.2	-Análisis de información con R-Versión 3.0.0. -Análisis de varianza (ANOVA). -Clasificación Wamsteker.	39 participantes	29/10/2015	-3 rondas de tareas. -Longitudes de trayectoria -Uso de medios de distinción.

Tabla 1: Tabla comparativa de simuladores  
Fuente: Elaboración propia

## 1.6. Hipótesis

El uso de entrenadores híbridos (físico-virtuales) en cirugías laparoscópica es una necesidad a nivel formativo en las instituciones universitarias, debido a que permiten la obtención de habilidades y destrezas a estudiantes que cursan este tipo de especialidad. En el planteamiento del proyecto se consideró la opinión del Departamento de Cirugía del Hospital Universitario San José de Popayán, Cauca, el cual menciona la importancia de emplear entrenadores virtuales, debido a que el progreso de los estudiantes en el manejo de herramientas quirúrgicas y el sistema de visión en una CMI puede ser evidenciado, y de igual manera, evaluado por el docente.

El presente proyecto se enfoca en el diseño de un prototipo entrenador híbrido de cirugía laparoscópica que cuente con los requisitos necesarios para mejorar las habilidades y destrezas neuro-psicomotoras del cirujano, de modo que se realice al final una correcta intervención. En este trabajo se empleará un prototipo entrenador de Cirugía de Mínima Invasión desarrollado con anterioridad en la Universidad del Cauca y denominado SL-SIM v1, al cual se le ejecutarán mejoras adicionando como herramienta de manejo el endoscopio y una pinza adicional, los cuales trabajarán en un entorno virtual (Unity 3D), donde el movimiento, rotación y posición de los elementos se detectarán y se reproducirán en el ambiente elegido. En cuanto a los ejercicios que se ejecutan en el simulador, se implementarán de acuerdo al programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery), para permitir de esta manera aumentar los beneficios del entrenamiento con la familiarización de los instrumentos y de igual manera, llevando a cabo un control de evaluación del proceso que tendrá como finalidad optimizar las habilidades. A continuación se puede observar en la figura 13 una pinza laparoscópica.



Figura 13: Pinza laparoscópica.  
Fuente: [31]

## **1.7. Objetivos**

### **1.7.1. Objetivo General**

Implementar un entrenador quirúrgico híbrido (físico - virtual) para mejoramiento de habilidades en cirugía laparoscópica basado en el programa de entrenamiento FLS(Fundamentals of Laparoscopic Surgery).

### **1.7.2. Objetivos específicos**

- Formular un compendio de ejercicios considerando el programa de entrenamiento FLS, e integrarlos en el prototipo de entrenador SL-SIM v1 desarrollado en un trabajo de grado anterior.
- Diseñar e implementar un módulo adicional para manejo de endoscopio en el entrenador.
- Evaluar la usabilidad del entrenador quirúrgico con los estudiantes y profesores de la asignatura Cirugía general de la Facultad de Ciencias de la Salud.

## Capítulo 2

### 2. Componente Hardware del Entrenador

El hardware es la parte física de la informática, son los componentes que se emplean para que un ordenador o cualquier otro dispositivo electrónico pueda funcionar de manera óptima y ejecutar las tareas para las que han sido diseñados y desarrollados. De esta manera, se recibe información a través de diferentes componentes, esa información se procesa para luego dar las órdenes oportunas que permitan cumplir con diversas tareas [32]. Un Hardware no se aplica solamente a la informática sino a la tecnología en general, (herramientas, máquinas, electrónica, teléfonos móviles, cámaras fotográficas) etc. [33]

El software tiene como función principal encargarse de analizar la información, de los programas y órdenes que el computador o dispositivo ha recibido [32], teniendo en cuenta lo anterior, un componente hardware asegura que la tarea a realizar tenga un rendimiento óptimo, eficaz y seguro, e igualmente es fundamental elegir un software adecuado el cual es vital a la hora de dar soporte a todo el proceso que se está realizando, considerando principalmente que de su uso depende el buen entrenamiento que se le pueda brindar al cirujano, la estabilidad y buen mantenimiento que tenga el dispositivo que se maniobra y la verificación de su factibilidad a partir de su buen rendimiento y optimización.

De la elección adecuada depende en gran medida su rendimiento posterior. Un hardware inadecuado puede generar mal funcionamiento del software o un bajo rendimiento y viceversa, es por ello que ambos conceptos están muy relacionados [32] y son importantes ya que de su uso dependen incluso las vidas que posteriormente estén en manos de los cirujanos.

Por otro lado, se hará uso de un implemento propio de la cirugía, la pinza de laparoscopia que se muestra en la figura 13, la cual permite hacer del entrenamiento del cirujano una experiencia más real, este instrumento permite agarrar tejido y pequeñas estructuras tubulares brindando al mismo tiempo comodidad y funcionalidad [34]. De igual manera, se hizo la implementación del endoscopio que es un dispositivo médico con luz incluida utilizado para observar dentro de un órgano. [35]

#### 2.1. Rastreo de posición

Para la realización de la cirugía es necesaria la introducción de pinzas y otros instrumentos quirúrgicos (e.g., tijeras) a la cavidad, los dispositivos que permiten la entrada y salida de los diversos instrumentos quirúrgicos son los trocares. Estos dispositivos constan de dos partes, el trocar que consiste en un punzón que atraviesa la pared abdominal y la funda que permite la introducción de los elementos sin perder la presión de CO<sub>2</sub> y que queda para la parte operativa [36]. Por lo anteriormente dicho, es muy

importante obtener la posición con alta exactitud y rapidez de cada uno de los movimientos que el cirujano realice con la pinza, ya que de la información que se obtenga dependerá lo que él contemple en la pantalla en ese preciso instante, y de acuerdo a ello tome las siguientes decisiones de los pasos a seguir para tener una cirugía eficaz y lo más importante preservar y mejorar la calidad de vida del paciente.

Considerando que el prototipo SL - SIM v1 no funcionaba correctamente debido al daño del sensor encargado de detectar la posición de la pinza, se tuvo que construir un sistema de visión y rastreo capaz de efectuar como mínimo las mismas tareas del sistema anterior, por lo cual se realizó modificación del prototipo. Es importante mencionar que los sistemas de rastreo existentes en el mercado no cumplen con las necesidades del proyecto.

Para obtener la posición de la pinza con la cual el cirujano realiza cada uno de los movimientos necesarios para llevar a cabo el proceso quirúrgico, se utilizó un componente software el cual se explicará con más detalle en el siguiente capítulo, y un componente hardware que como se mencionó anteriormente, en conjunto brindan soporte a todo el proceso que se esté realizando y permiten que la tarea que se ejecute y realice de la manera más óptima, rápida y eficaz posible, por lo cual es fundamental contar con las herramientas y el escenario adecuados que permitan observar con claridad el entorno de trabajo.

### **2.1.1. Diseño de prototipo**

Teniendo en cuenta que se trabajará en un espacio en tercera dimensión, se situaron dos cámaras las cuales harán detección de los tres ejes de movimiento, X, Y y Z.

Una propiedad importante a tener en cuenta al momento de escoger las cámaras que se utilizaron, fue el tipo de enfoque con la que cada una cuenta, ya que, al considerar implementar un enfoque automático en el transcurso de la detección, traería como consecuencia la pérdida de alguna de las pinzas durante los procedimientos realizados virtualmente en el simulador.

Considerando lo mencionado, para cumplir con el objetivo planteado se hace uso de la cámara Genius Facecam 1000x (ver figura 14) encargada de observar la la pinza en el eje X y Y.



Figura 14: Cámara Genius Facecam 1000x.  
Fuente: [37]

Características:

- Sensor de video HD de 720p (1280 x 720 pixeles).
- Enfoque manual.
- Zoom digital 3X.

Por otro lado, se utiliza la cámara Genius FaceCam 2000(ver figura 15) encargada de observar la pinza en el eje Z.



Figura 15: Cámara Genius FaceCam 2000.  
Fuente: [38]

Características:

- Resolución de video 2MP (1600x1200 pixeles).
- Imagen de Alta calidad, excelente color y nitidez.
- Foco manual de gran precisión y balance de blancos.
- Conexión: USB 2.0 con velocidad de 480 Mbps.
- Video de 640 x 480 Mbps.

Teniendo presente las características mencionadas, se tuvieron en cuenta algunas variables para iniciar con el diseño del prototipo, entre ellas se encuentran:

- El ángulo de enfoque de las cámaras(Horizontal-Vertical).
- El área de trabajo a utilizar.
- La longitud de las pinzas laparoscópicas.

Considerando lo mencionado anteriormente, se procedió con el diseño del prototipo. Como primera medida se analizaron por medio de video los ángulos de visión de las cámaras, de tal manera que cubrieran un tamaño de área considerable, teniendo presente que cada cámara cuenta con un ángulo de visión diferente. Ya con esto, se procede a realizar las medidas con que debe disponer el prototipo (ver figura 16) en los ejes X y Z.

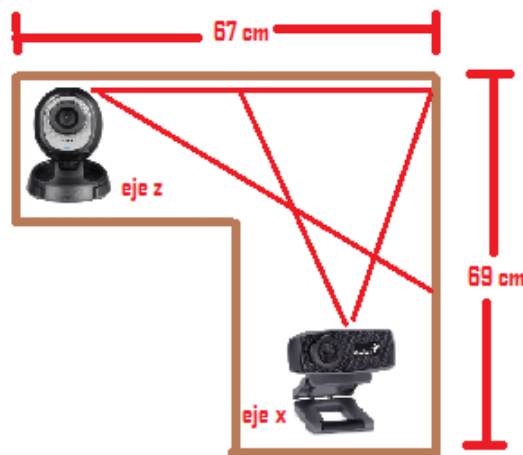


Figura 16: Ángulos de visión de las cámaras en ejes X,Z.  
Fuente: Elaboración propia

El mismo análisis realizado para los ejes X, Z se efectúa en el eje Y para las dos cámaras, por lo cual fue importante saber que la detección del eje Y solo se realizó con la cámara Genius FaceCam 1000x, lo que permite posicionar de una manera un poco más libre la cámara Z. Ahora bien, se buscó que la cámara Z cubriera por completo el área de trabajo definida en los ejes XY, por lo cual el ángulo de visión de la cámara es mucho más grande. Seguidamente se define la medida utilizada en el prototipo en el eje “Y” la cual es de 40 cm (ver figura 17). Con lo anterior se puede inferir que, a consecuencia de los ángulos de las cámaras a utilizar, el prototipo dispone de medidas bastantes grandes.

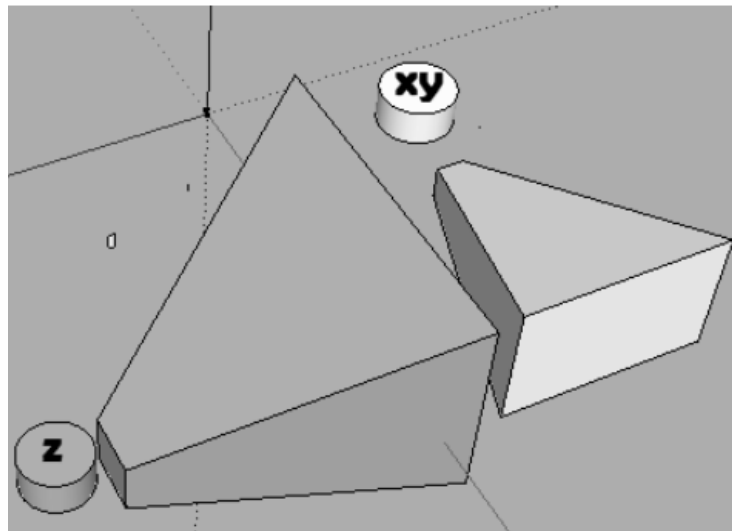


Figura 17: Ángulos de visión de las cámaras en ejes X,Y.  
 Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, el escenario de trabajo es cerrado, por lo cual no dispone de ningún tipo de iluminación, lo que hace necesario proveer luminosidad en el interior del mismo debido a que el espacio debe permanecer visible para las cámaras, además esto facilitará la detección de la pinza.

Primero se analizaron los ángulos muertos de visión de las cámaras presentados en la figura 18 en todos los planos de trabajo, con el fin de instalar la iluminación, de tal manera que esta no afecte directamente la visión y se logre proporcionar una imagen clara, sin reflejos ni sombras, que al estar presentes pueden afectar la detección de la pinza.



Figura 18: Área con ángulos de visión muertos.  
 Fuente: Elaboración propia.



Teniendo claro los ángulos muertos, se instalaron 2 bombillos de 7 vatios (ver figura 19) en dirección al ángulo de visión de cada una de las cámaras, estos se encuentran alimentados con 120 voltios pertenecientes a la red domiciliar a la cual se encuentran conectados directamente, de esta manera se logró generar una buena iluminación dentro del espacio de trabajo.



Figura 19: Posición de bombillos en prototipo.  
Fuente: Propia.

El escenario de trabajo (ver figura 20) debe ser visible por las dos cámaras debido a que se trabaja en un espacio 3D y las pinzas deben siempre tener movimiento en las 3 coordenadas, por tanto, se ve limitado en los ejes X Z.

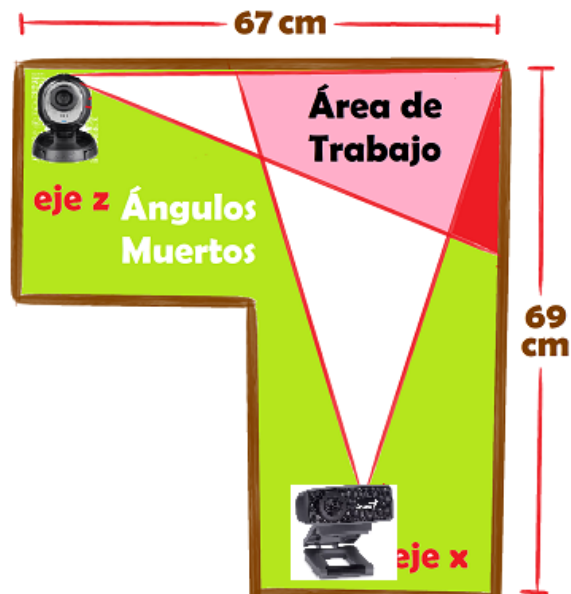


Figura 20: Área de trabajo.  
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, el espacio en color oscuro observado en la figura 21 se ocultó con el propósito de que las pinzas no puedan moverse por un área donde solo una de las cámaras cuenta con visibilidad. Esto también ocurre en algunos espacios señalados en gris

claro, por tanto, el movimiento se limitó ubicando vidrios en frente de las dos cámaras para que estos no afectaran la visibilidad de las mismas, así se consiguió restringir el área de trabajo. Lo mencionado se puede observar mejor en la figura 22.

Igualmente la parte superior de la cámara Z se ubica justamente en el límite superior del eje Y el cual es detectado por la cámara XY.

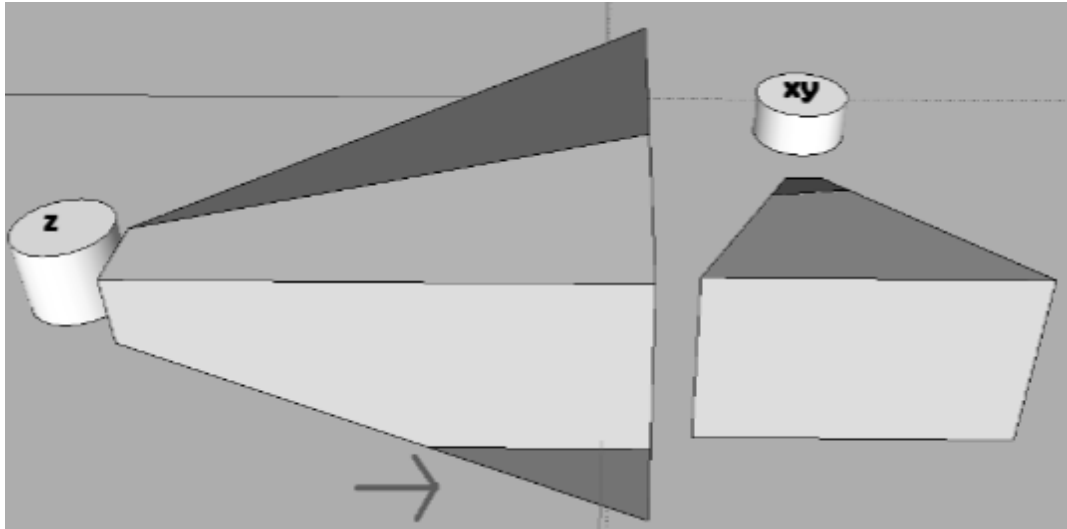


Figura 21: Límite del área.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 22: Ángulos en el prototipo.  
Fuente: Propia.

Debido a la posición de la cámara, en la figura 23 se evidencia como la parte inferior del ángulo de visión de la cámara Z (marcada con color oscuro) no es detectado por la cámara XY, debido a lo cual una vez más se disminuye el área de trabajo ubicando un vidrio como base. Además, en la figura 23 se observa cómo otra parte de área (señalada por la flecha) es detectada solo por una de las cámaras, pero en esta ocasión no se limitó el espacio de manera física puesto que no permitiría que la pinza se moviera por todo el espacio de trabajo.

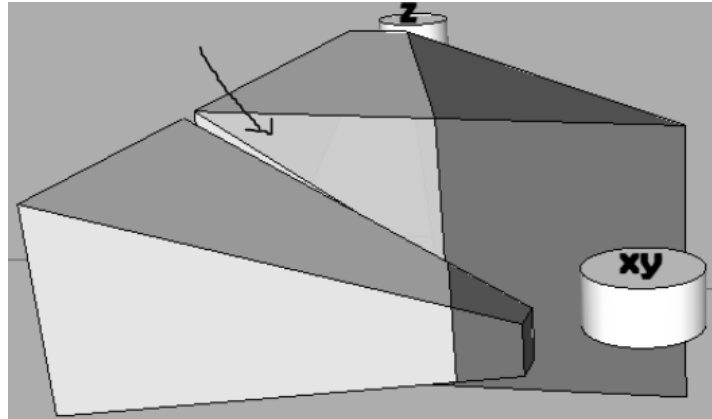


Figura 23: Segundo límite en el área.  
Fuente: Propia.

Por otra parte, el entorno de trabajo casi en su totalidad fue pintado de color blanco como se muestra en la figura 22 para facilitar la detección que se efectúa mediante el software, específicamente las áreas a las cuales tiene acceso la visión de las cámaras, inclusive se ocultaron los objetos, cables y demás cosas que cuentan con un color diferente al blanco dentro del prototipo, esto se explicará a profundidad en el siguiente capítulo.

Teniendo en cuenta que por medio del software se logró detectar una segunda pinza, se procede a implementarla en el área de trabajo, permitiendo de esta manera que el usuario maneje las dos manos al momento de realizar los ejercicios planteados, que permitirán su aprendizaje en cirugía laparoscópica.

Para mejorar la estética del prototipo se localiza sobre la caja un maniquí que hará las veces de paciente, y por el cual se ingresarán las pinzas que serán detectadas por las cámaras. Considerando que la altura de la caja es de 40 cm y la altura del maniquí 15cm, se realiza un alargamiento de las pinzas para que puedan llegar con facilidad a todo su espacio de trabajo como se observa en la figura 24

Por otra parte en la figura 24, se pueden observar dos esferas de colores y dos trozos de madera con los que se realizó el alargamiento, los materiales de ellos fueron elegidos con el objetivo de no afectar el entrenamiento del usuario.



Figura 24: Pinzas y prototipo final.  
Fuente: Elaboración propia.

## 2.2. Obtención de la rotación

La mayoría de los métodos de identificación de la rotación actuales cuentan con algunas limitaciones, por otro lado, se debe tener en cuenta que la obtención del movimiento específico de la rotación en una pinza es muy importante, considerando que en este tipo de cirugía la rotación para la manipulación de algún órgano o la realización de algún procedimiento en un lugar determinado del campo de cirugía es evidente. Para ello, se hace uso del sensor MPU6050, el cual es económico teniendo en cuenta el hecho de que combina un acelerómetro y un giroscopio en el mismo dispositivo y además de ello, cumple debidamente con sus funciones establecidas.

La implementación de la rotación en las pinzas laparoscópicas, se realizó por medio del interfaz de comunicación que usa Arduino para lograr la conexión entre el módulo giroscopio y el entorno de desarrollo software Unity 3D, por tanto, los pines a utilizar fueron el SDA (para el dato) y SCL (para el reloj).

EL MPU6050 es un sensor con 6 grados de libertad, es decir, combina un giroscopio de 3 ejes y un acelerómetro de 3 ejes con el que se miden los componentes X, Y y Z de la aceleración. La dirección de los ejes está indicado en el sensor, el cual se debe tener en cuenta para no equivocarse en el signo de las aceleraciones [39]. Además incluye la tecnología Digital Motion Processor (DMP), un “coprocesador” de movimiento que permite ejecutar algunos algoritmos esenciales y reducir la carga en el procesador principal. [40]. En la figura 25 se puede observar la ubicación del giroscopio en la pinza.

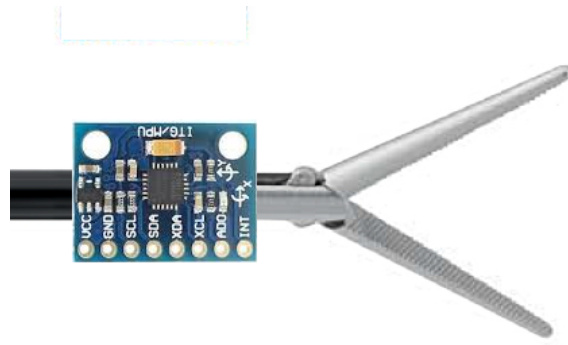


Figura 25: Giroscopio en pinza Laparoscópica.  
Fuente: Elaboración propia.

Cuenta con una resolución de 16-bits, lo cual significa que divide el rango dinámico en 65536 fracciones, estos aplican para cada eje X, Y y Z al igual que en la velocidad angular. El sensor es ideal para diseñar control de robótica, medición de vibración, sistemas de medición inercial (IMU), detector de caídas, sensor de distancia y velocidad, y muchas cosas más [39].

El MPU6050 contiene un giroscópico y un acelerómetro, además de un sensor de temperatura, mediante I2C regresa unos valores conocidos como raw o “crudos” según el registro seleccionado.

### 2.2.1. Acelerómetro

Los acelerómetros son dispositivos electromecánicos que miden la aceleración, ya sea estática o dinámica la cual es la tasa de cambio de la velocidad de un objeto. Esto se mide en metros por segundo al cuadrado ( $m/s^2$ ) o en las fuerzas G (g). Los acelerómetros son útiles para detectar las vibraciones en los sistemas o para aplicaciones de orientación [41]. Existen varios tipos y diseños que aunque tienen el mismo fin pueden ser muy distintos unos de otros según la aplicación a la cual van destinados y las condiciones en las que han de trabajar. Algunos de ellos son: Mecánicos, Capacitivos, Piezoeléctricos, Piezoresistivos o Térmicos [42].

El acelerómetro implementado en el circuito integrado MPU-6050 mide la aceleración, vibración o inclinación y transforma la magnitud física de aceleración en otra magnitud eléctrica que será la que se empleará en los equipos de adquisición estándar [39]. El sensor incorpora acelerómetros integrados en silicio, debido a la necesidad de reducir el tamaño total de la unidad. La mayoría de éstos son capacitivos, y calculan la aceleración mediante el voltaje obtenido entre dos placas una de las cuales varía su posición dependiendo del movimiento del acelerómetro. Se caracterizan por ser muy precisos en situaciones estables y tener un gran error en situaciones vibratorias o movimientos muy inestables.

### 2.2.2. Giroscopio

Un giroscopio es un dispositivo con característica esférica en su forma con un objeto en su centro en forma de disco, montado en un soporte cardánico, de manera que pueda rotar libremente en cualquier dirección sobre su eje de simetría. Su principio de funcionamiento está basado en la conservación del momento angular, por eso es utilizado para medir la orientación o para mantenerla haciendo uso de las fuerzas que ejercen en su sistema de balanceo [43].

Hay dos tipos de giroscopio, los electrónicos y los analógicos, los primeros detectan las rotaciones y mide la velocidad angular para determinar qué tan suave o brusco fue el movimiento; es muy utilizado en celulares para detectar cuando se debe rotar la pantalla del celular. Por otro lado, los analógicos al detectar la velocidad de rotación, devuelven la información en forma analógica lo que permite la aplicación de estos dispositivos en muchos ámbitos industriales [44].

En el sensor MPU6050 el giroscopio mide la orientación, basándose en los principios de la conservación del momento angular. Las unidades de medida inercial utilizan giróscopos MEMS, es decir, integrados y de tamaño reducido. La salida de dicho sensor es un voltaje, la variación del cual nos indica en grados por segundo ( $V/^{\circ}/s$ ) la velocidad angular sufrida por el sensor. Se caracterizan por tener un error constante y lineal llamado bias.

### 2.3. Apertura o cierre de la pinza

La apertura o cierre de pinza hace parte de cualquier procedimiento quirúrgico laparoscópico que realice un cirujano en el cuerpo humano, debido a que esta acción es realmente necesaria e importante, teniendo en cuenta que este mismo proceso debe ser reproducido en el simulador que permitirá entrenar a los cirujanos, se hará uso del sensor analógico de efecto Hall 49E el cual dispone de poco peso y un tamaño pequeño. A continuación se puede ver en la figura 26 la ubicación del sensor de efecto hall en la pinza.



Figura 26: Imagen de pinza con sensor de efeco Hall.  
Fuente: Elaboración propia.

El sensor de efecto hall responde a campos magnéticos, si circula una corriente eléctrica a través del sensor y se acerca al sensor un campo magnético transversal a la corriente, entonces el sensor devolverá tensión por el terminal de salida, esto se produce debido al componente que reacciona ante los campos magnéticos llamado arseniuro de

galio (GaAs) o arseniuro de indio (InAs) [45].

La señal de salida de este sensor es un voltaje, llamado voltaje de Hall, en relación con la corriente que circula por el sensor y la fuerza del campo magnético. Eso quiere decir que si se aumenta con un regulador la corriente eléctrica que circula por el sensor se estará modificando la tensión de Hall [45].

El sensor de efecto hall cuenta con alta exactitud, altas linealidades de la sensibilidad, estabilidad de temperatura y confiabilidad [46].

## 2.4. Procesamiento de datos

La toma y procesamiento de datos de todos los dispositivos nombrados anteriormente, se realiza mediante la conexión a una placa electrónica Arduino Mega2560 que cuenta con 54 pines de E/S digitales (de los cuales 15 se pueden usar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs (puertos serie de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, una conexión USB, un conector de alimentación, un encabezado ICSP, y un botón de reinicio [47].

Para la obtención de los datos de los módulos MPU6050 se deben instalar las librerías I2Cdevlib y MPU6050 las cuales se encuentran en un repositorio de Git Hub, se deben descargar, descomprimir los archivos y posteriormente ubicarlas en la carpeta library de la plataforma Arduino, la cual se encuentra en el directorio donde se instaló Arduino en el equipo.

Para la conexión, estos módulos se deben alimentar desde el Arduino Mega 2560 mediante GND y 5V y conectar los pines SDA y SCL del Arduino con los pines correspondientes el sensor en modo BUS, como se evidencia en la figura 27.

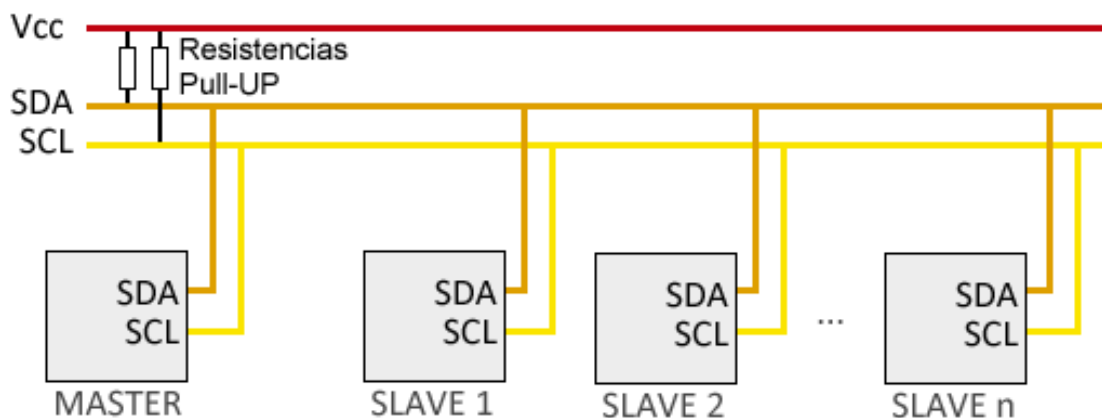


Figura 27: Conexión en Bus.  
Fuente: [48]

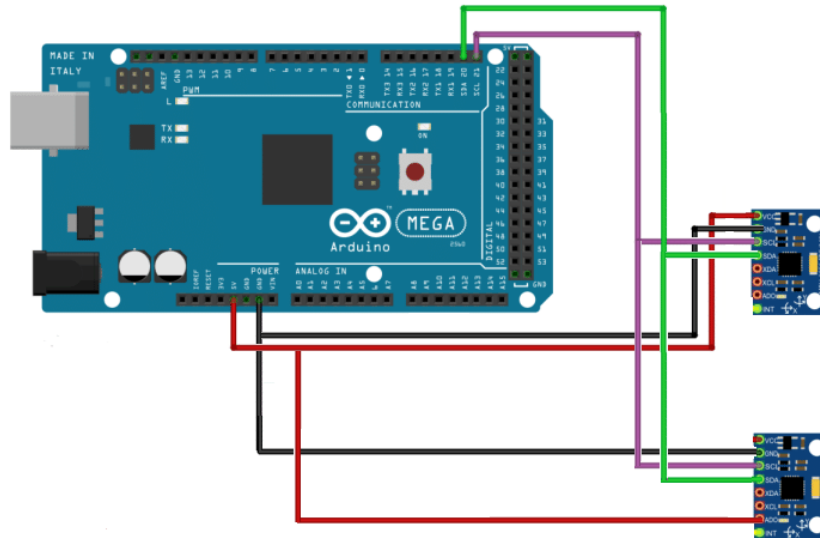


Figura 28: Conexión arduino con sensores MPU6050.  
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta que los módulos medirán la rotación de las pinzas, estas deben iniciar con una posición determinada, las cuales Unity por defecto arrojará, cabe resaltar que no es prioridad conocer la ubicación inicial exacta de la rotación, debido a que independientemente de este valor, el programa tomará la rotación con la que inicie el programa como su posición inicial, y en adelante mantendrá la relación del movimiento de las pinzas reales con las pinzas virtualizadas desplegadas en unity 3D, de manera que el usuario pueda sentirse cómodo al realizar el movimiento de rotación con cada una de las pinzas. Ver figura 29.

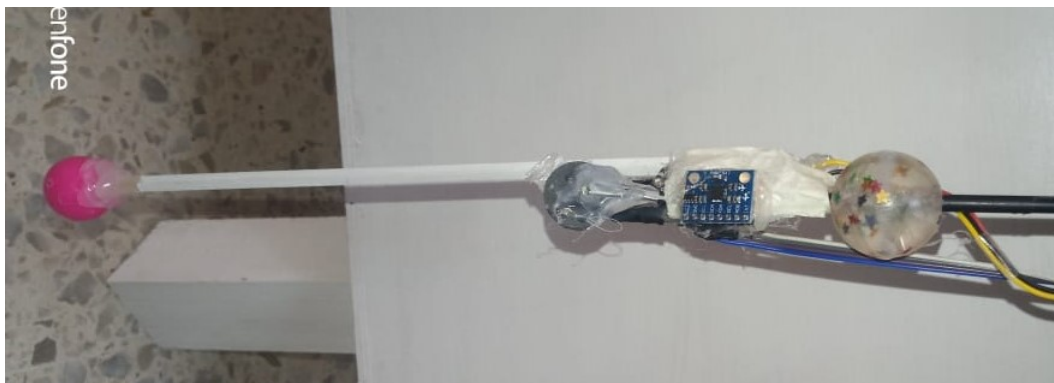


Figura 29: Sensor Módulo MPU6050 en la Pinza Laparoscópica.  
Fuente: Elaboración propia.



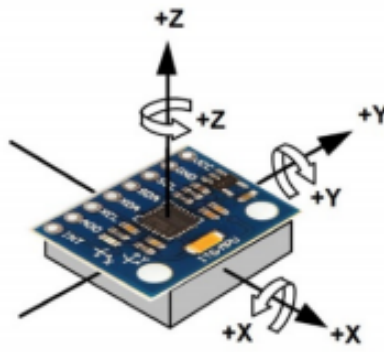


Figura 30: Ejes del Módulo MPU6050.  
Fuente: [30]

El plano en el que se proporcionará la rotación es el eje Y (ver figura 30) , por lo cual la ubicación del módulo en cada una de las pinzas debe realizarse como se muestra en la figura 29. Para calcular el movimiento se hace uso del giroscopio ubicado en el módulo MPU6050, el cual se encarga de obtener los datos de la posición ya que este no es afectado por la gravedad como sucede con el acelerómetro, dado que la posición en que se encuentra y el movimiento al que se somete la gravedad puede afectar las medidas de este sensor. El giroscopio entrega la velocidad angular, pero en esta oportunidad para el cálculo de la rotación se toma por defecto la posición inicial en el programa, y a esta misma se le suma la relación de la velocidad angular, puesto que si la velocidad angular es positiva, la pinza tendrá una rotación positiva (hacia la derecha), y viceversa(negativa - hacia la izquierda).

Con lo anterior, se adquiere la rotación de las pinzas, seguidamente procedemos a obtener la apertura de cada una de ellas con los sensores de efecto Hall. La conexión entre la placa Arduino Mega2560 y estos sensores se lleva a cabo alimentando los sensores mediante los pines GND y 5V, se deben conectar los pines de salida de los sensores en los pines analógicos A8 y A11 correspondientes a la pinza derecha y pinza izquierda respectivamente, estos sensores fueron configurados para lograr la comunicación con Arduino, como se aprecia en la figura 31.

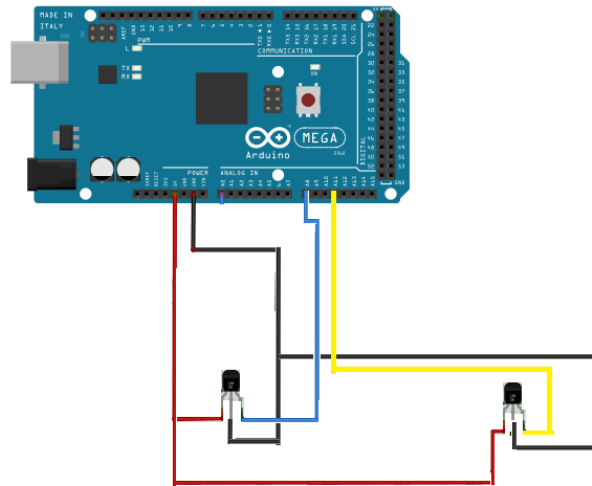


Figura 31: Conexión Arduino con sensores de efecto Hall.  
Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente, se ubicó un imán en uno de los extremos de cada pinza y el sensor de efecto Hall en el otro (figura 32), con el fin de obtener un rango de variación del voltaje al cerrar y abrir la pinza, con esos valores se realiza una escala en el entorno virtual, de tal manera que la apertura y cierre de las pinzas presentadas en el entorno físico se vean reflejados en el virtual.



Figura 32: Sensor de efecto Hall en Pinza Laparoscópica.  
Fuente: Propia.

## Capítulo 3

### 3. Componente Software del Entrenador

Para el desarrollo del proyecto entrenador de cirugía laparoscópica, donde se cumple con una serie de ejercicios a lo largo del entrenamiento que hacen parte de la mayoría de los entrenadores convencionales en los cuales se lleva a cabo un programa de entrenamiento en común llamado FLS(Fundamentals Laparoscopic Surgery), un buen rendimiento acompañado de una buena y fácil interfaz para el usuario, es esencial a la hora de la implementación.

Adicionalmente se debe contar con una buena metodología de trabajo, un buen motor de desarrollo y un uso eficiente a nivel de tecnologías. Por esta razón, en este capítulo se expondrá la metodología a usar, el motor de desarrollo a utilizar, diagramas de modelado de la arquitectura del software, y la aplicación donde se integra todo el anterior desarrollo.

#### 3.1. Metodología del Proyecto

La metodología en un proyecto de desarrollo software es parte fundamental para el mismo, de una buena elección dependen factores esenciales como la rapidez, la eficacia y un buen trabajo final. Para esta ocasión se debe tener en consideración los usuarios finales con los que se trabajará el entrenador, debido a que cuentan con poca disponibilidad de tiempo puesto que son residentes de diferentes años pertenecientes a la Facultad de Ciencias de la Salud , por esto mismo se escogió una metodología flexible donde los clientes pueden aportar al proyecto, debido a que se maneja un programa propenso a cambios dentro del desarrollo.

En la actualidad existen metodologías tradicionales y ágiles donde cada una tiene sus ventajas y desventajas dependiendo del tipo de proyecto, del personal con el que se va a trabajar y de la complejidad [49], entre otros factores que pueden presentarse al momento de realizar el desarrollo del proyecto. Las metodologías ágiles son enfocadas en los usuarios, debido a la flexibilidad de sus procesos, también cuentan con entregas de proyecto que van de la mano con las circunstancias que surgen durante el proceso.

Existen varias metodologías ágiles para el desarrollo de proyectos donde se resaltan varias, como por ejemplo: ICONIX, RUP, XP y SCRUM. Cada una de ellas con características que las identifican, como el caso de ICONIX y RUP, donde el tamaño del proceso y del equipo deben ser altas o medias, ICONIX [49] deriva directamente de RUP por lo cual también maneja casos de uso, no desecha ningún análisis ni diseño y hace uso aerodinámico del UML <sup>7</sup>.

En esta ocasión para el proyecto se trabajará con un equipo pequeño de 3 personas, y las metodologías que se acomodan a esta situación son XP y SCRUM [49], por lo

---

<sup>7</sup>UML: Estándar diseñado para visualizar, especificar, construir y documentar software orientado a objetos

tanto para este caso en particular se decide emplear la metodología SCRUM (Anexo A), debido a que se cuenta con mayor documentación al respecto y los desarrolladores a cargo tienen algo de experiencia trabajando con esta metodología en proyectos anteriores.

## 3.2. Configuración del Equipo Scrum de Trabajo

La metodología de trabajo que se utilizará es “SCRUM”, a continuación, se procederá a definir los roles del equipo (Equipo Scrum), como el listado de tareas a desarrollar (Product Backlog), las fases (Sprint backlog). Cabe aclarar que debido a que el equipo es muy pequeño se hará una adaptación de la metodología SCRUM [50].

### 3.2.1. Roles del Equipo Scrum

- Product Owner:

Es el miembro del equipo el cual recibe información acerca del producto final, es el responsable de que los requisitos que exige el usuario estén claros para el equipo de trabajo, es quien define los criterios de aceptación y se asegura que se cumplan, también es la única persona que se encarga de hacer y modificar el Product Backlog.

- Equipo de desarrollo:

Está integrado por profesionales en desarrollo, son los encargados estrictamente del desarrollo del proyecto, por esta razón deben ser autosuficientes y por ellos mismos o en equipo lograr cumplir a cabalidad cada uno de los sprints propuestos. En ciertos casos existen personas en el equipo con especialidades en algunos campos de desarrollo, pero sin importar ello, todos deben estar en capacidad de realizar una tarea o sprint con éxito, dado que el equipo de trabajo es pequeño y no se pueden establecer sub-equipos para ejecutar las tareas requeridas. De igual manera, el equipo debe estar en la capacidad de cumplir con la totalidad del trabajo al mismo tiempo que resuelve sus problemas con agilidad.

- Scrum Master:

El Scrum master es la persona del grupo de trabajo que tiene características de líder, la cual apoya al equipo en las dificultades y obstáculos que se pueden presentar en el desarrollo. Su principal función es que el equipo alcance los objetivos propuestos hasta llegar al sprint final con el propósito de disminuir tiempos e incrementar la eficiencia.

- Stakeholders:

Aquí se encuentran las personas que no están involucradas directamente en el equipo SCRUM, pero que de igual forma son usuarios finales y se encuentran interesados en el producto final o servicio. Los stakeholders deben ser coordinados por el Product Owner con el fin de llevar a cabo los cambios y o modificaciones adecuadas en el proyecto.

La adaptación comentada con anterioridad en el documento conlleva a que algunos de los integrantes de trabajo cumplan con dos papeles en el equipo, por lo cual la tabla 2 indica la distribución del equipo de trabajo SCRUM.

Rol	Nombre	Cargo
Product Owner	Cesar Andrés Olave Fernández.	Estudiante FIET
Stackholder	Estudiantes residentes de primer, segundo, tercer y cuarto año de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Cauca.	Estudiantes de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Cauca.
Scrum Master	Hermes Fabián Vargas	Ingeniero FIET(director del trabajo de grado)
Equipo de Desarrollo	Adriana González Potosí Cesar Andrés Olave Fernández	Estudiantes FIET

Tabla 2: Equipo de trabajo SCRUM.

Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.2. SPRINT 0

- Revisión del prototipo versión 1:

Como primera medida, para darle solución al sprint cero, se tiene en cuenta las tecnologías usadas en el prototipo de entrenador SL-SIM v1, en donde fue utilizado Unity 3D como motor de desarrollo debido a que el proyecto se maneja en un entorno similar al empleado en los videojuegos. En la documentación de este motor tan reconocido, se encuentra que el lenguaje C# (cSharp) es el ideal a la hora de una implementación, dada la facilidad que brinda al momento de realizar cualquier tipo de programación.

Otras herramientas usadas en el prototipo fueron:

- Visual Studio Community, en el cual se dispuso realizar las ediciones de los scripts, por su facilidad de manejo y el ahorro de tiempo en la escritura de los mismos.
- Visual Studio Code, donde en el prototipo v1 realizó la programación del servidor, pues es recomendado por las comunidades de desarrolladores de la red, cuando se presentan este tipo de proyectos.
- MySQL, usado en el módulo de base de datos (DB), dado su facilidad de trabajo y el buen manejo del equipo anterior.

- JavaScript con Node JS, tecnología trabajada para el funcionamiento del servidor, brindando buenos resultados.

- Análisis de funcionamiento del prototipo v1:

Para realizar el análisis se estudió la arquitectura del prototipo anterior con el fin de realizar una evaluación del funcionamiento, en la cual se tuviera conocimiento de cada una de las partes en las que estaba distribuido el trabajo. Lo anterior se propone con el objetivo de determinar si existe una falla en el sistema que pueda ser solucionada mediante hardware o software.

En cuanto al hardware se presentaron inconvenientes debido a que varios sensores se encontraban dañados, entre ellos estaba el sensor de efecto hall encargado de realizar la apertura y cierre de la pinza, también el Leap Motion, un sensor con características avanzadas, el cual era el único y principal responsable de enviar la posición en tiempo real de la pinza; por esta razón, se buscó una solución por medio de software o de un hardware más asequible que brindara la misma o mejor eficiencia que el Leap Motion. Es de prioridad cumplir con este objetivo, debido a que sin él no se podría evaluar el desarrollo del nuevo proyecto.

En cuanto el entorno de desarrollo, el funcionamiento es realmente muy bueno, Unity es un motor muy recomendado y utilizado por muchas empresas alrededor del mundo para el desarrollo de videojuegos, brindando una seguridad en rendimiento, pero en esta ocasión la función de toma de objetos perteneciente a las pinzas no trabajaba correctamente, al igual que la función de apertura y cierre de la pinza y rotación de la misma.

En cuanto a los lenguajes de programación que se trabajaron en el prototipo anterior, como Arduino, el equipo Scrum no presentó mayores dificultades, ya que los integrantes contaban con experiencia en este lenguaje de programación. Por otro lado el equipo scrum tuvo problemas con los lenguajes C# en Unity 3D y JavaScript en el entorno node js utilizado para el desarrollo del backend, puesto que no contaban con conocimiento previo para modificar lo realizado y por lo cual debió realizar una familiarización con los lenguajes.

- Recomendaciones para los scriptst's siguientes :

Las tareas u objetivos que se necesitan cumplir además de los propuestos inicialmente son:

Buscar e implementar un dispositivo hardware o software, con el propósito de obtener la posición de dos pinzas en tiempo real.

Modificar función de toma de objetos de la pinza laparoscópica.

Modificar las funciones de apertura y cierre, y rotación de la pinza en Arduino y Unity 3D.

### 3.2.3. Story Mapping

Para la construcción del Story Mapping se realizó una lista de requerimientos previos al desarrollo que se definen con respecto a lo estipulado en el programa de entrenamiento FLS, y adicionalmente, se solicita la ayuda de los usuarios finales quienes se encargan de realizar algunas solicitudes según sus necesidades. Los requerimientos se organizaron en este diagrama entendiéndose como el Sprint Backlog, con el fin de luego definir los sprints del proyecto.

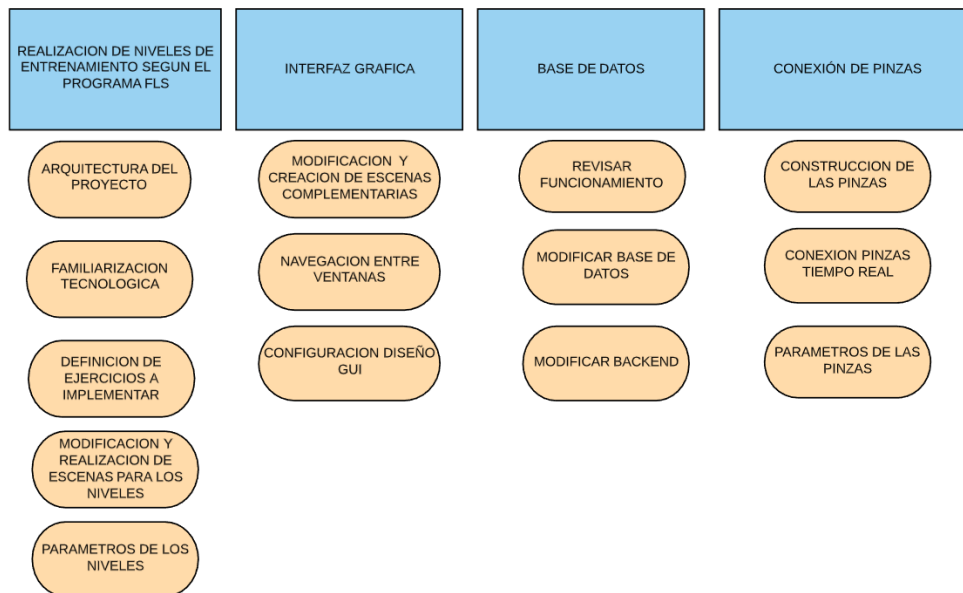


Figura 33: Story Mapping.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.4. Sprints

Examinando las tareas dispuestas en el anterior diagrama, se definen 4 sprints donde se organizarán los parámetros adecuados para dar cumplimiento a los objetivos propuestos.

- *SPRINT 1*: Realización de la arquitectura general del proyecto, familiarización con las tecnologías utilizadas en el prototipo versión 1 y estudio de la documentación del programa FLS.
- *SPRINT 2*: Implementación de los ejercicios de adiestramiento de los 3 niveles de entrenamiento para certificación del programa FLS escogidos en el sprint 1, adicionando la función de manejo del endoscopio en todos los niveles.
- *SPRINT 3*: Definición de la tecnología a utilizar con capacidad de obtener la posición de la pinza en tiempo real, y realización de la conexión con el entorno.
- *SPRINT 4*: Modificación de la base de datos teniendo en cuenta los parámetros de evaluación definidos en el programa de entrenamiento FLS.
- *SPRINT 5*: Modificación de la interfaz gráfica y navegación entre escenas.

### 3.2.5. SPRINT 1

Después de conocer las características, funciones, herramientas utilizadas en el prototipo anterior y los problemas presentados, se procede a plantear las tareas pertenecientes al desarrollo de nuestro trabajo, para lo cual se proponen unas tareas dispuestas a continuación en un Sprint Backlog (figura 34).

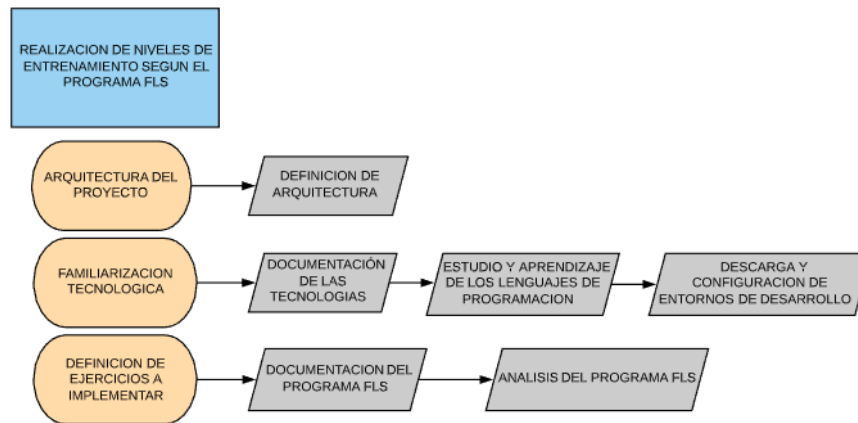


Figura 34: Sprint Backlog Sprint 1.  
Fuente: Elaboración propia.

Las subtareas definidas en la figura 34 se tomarán como sprint backlog del sprint 1.

#### 3.2.5.1 Sprint Planning

A continuación se efectuará la definición de los ejercicios a implementar en el entorno teniendo en cuenta una búsqueda y análisis previo. Ver tabla 3.

Item Backlog	Tareas	Responsable	Tiempo
Arquitectura del proyecto	Definir la Arquitectura	Equipo de desarrollo	4 horas
Familiarización con tecnologías, entornos y editores de texto	Documentación de tecnologías, entorno y editores a trabajar	Equipo de desarrollo	8 días
	Aprendizaje de los lenguajes a trabajar	Equipo de desarrollo	2 días
	Descarga y configuración de entornos de Desarrollo	Equipo de desarrollo	8 días
Definición de ejercicios a implementar	Búsqueda de la Documentación del programa de entrenamiento FLS	Equipo de desarrollo	3 días
	Análisis del programa FLS	Equipo de desarrollo	8 días
	Tabla comparativa	Equipo de desarrollo	4 horas

Tabla 3: Sprint Planning Sprint 1.  
Fuente: Elaboración propia.



### 3.2.5.2 Arquitectura del Proyecto

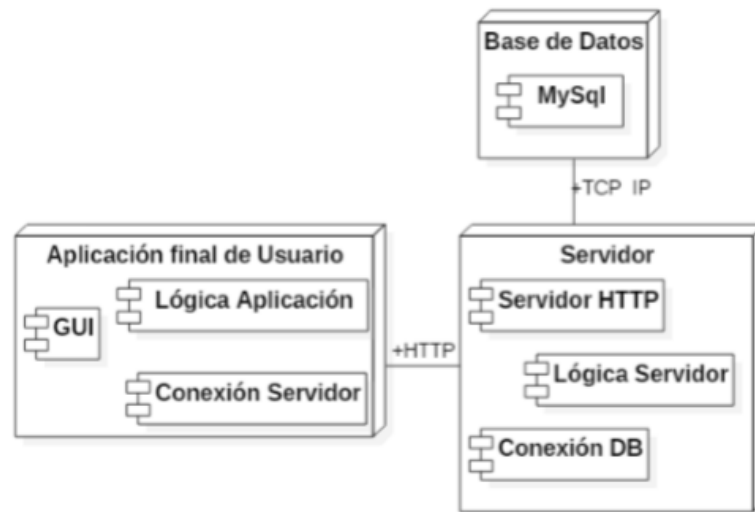


Figura 35: Arquitectura proyecto.

Fuente: Elaboración propia.

En el diagrama mostrado en la figura 35 podemos encontrar 3 módulos interconectados, el módulo perteneciente a la base de datos (BD), módulo de servidor y el módulo del desarrollo; cabe resaltar que como el desarrollo es parte de una versión 2 del proyecto realizados con anterioridad, los módulos de BD y el del servidor no van a presentar cambios drásticos, debido a que el análisis realizado tuvo resultados favorables, esto quiere decir que existe un buen funcionamiento en estos módulos. Para el proyecto, la prioridad es el desarrollo del módulo de la aplicación final del usuario, donde en su interior cuenta con 3 componentes, los cuales se mencionarán a continuación :

- **GUI:** Esta parte del módulo es la encargada de la interfaz gráfica (frontend), todo lo correspondiente a las escenas menús, ejercicios y resultados que serán observados por el usuario.
- **CONEXIÓN CON SERVIDOR:** En este sub-módulo se encuentra ubicada la lógica de conexión con el servidor que se está trabajando, scripts con los cuales por medio de HTTP se realizan las solicitudes de datos que necesitan el usuario y el administrador.
- **DESARROLLO DE APLICACIÓN:** En este módulo se encuentra toda la lógica comprendida mediante Scripts, donde se realiza el desarrollo del proyecto para el usuario final, de la calidad de este módulo depende el éxito del proyecto.

Es importante mencionar que para las modificaciones de la base de datos se continuó el trabajo con el gestor de base de datos MySQL.

### 3.2.5.3. Familiarización con las tecnologías implementadas

Como primera medida se buscó información a cerca de las tecnologías usadas en el prototipo v1 para luego realizar cursos que permitieran ganar experiencia y práctica en el manejo de los lenguajes.

Se realizó un curso virtual que ayudó a mejorar el manejo de la plataforma unity 3D con su lenguaje C#, y un curso más que permitiera conocer el empleo del entorno node js para entendimiento del backend. Finalmente se descargó el entorno de desarrollo, se configuró y se puso en funcionamiento con los otros lenguajes, para luego iniciar el estudio de su código fuente.

### 3.2.5.4. Análisis de programa del entrenamiento FLS y el prototipo v1

Para efectuar esta tarea se debió realizar una comparación de los ejercicios de adiestramiento del prototipo v1 y los ejercicios propuestos por el programa de entrenamiento FLS. El motivo por el cual se lleva a cabo esta tarea, es modificar la implementación de ejercicios con el fin de mejorar las habilidades del cirujano. Adicionalmente se espera agilizar el desarrollo del proyecto, dado que existe probabilidad de que los ejercicios con los que cuenta el prototipo, tengan algunas características que coincidan con las documentaciones del programa.

El primer prototipo contaba con la construcción de la mayoría de los instrumentos a trabajar, como pinzas laparoscópicas e instrumentos para la realización de ejercicios, también contaba con ejercicios básicos para el entrenamiento, pero no estaban basados o argumentados en algún programa certificado. Por lo mencionado anteriormente, las facilidades fueron a nivel de instrumentación virtual básica.

Después de estudiar el programa FLS y su certificación, donde se plantean ejercicios como: Introduction, Peg Transfer, Precision Cutting, Lagating Loop, Suture with extracorporeal knot Y Suture with intracorporeal knot, se decide elaborar una tabla comparativa(tabla 4) donde se analicen las diferencias de cada uno de los ejercicios del programa FLS con los implementados en el prototipo v1, y por último concluir las mejoras a ejecutar en la aplicación.

<b>Características y Ejercicios FLS</b>	<b>SL-SIM v.1</b>
INTRODUCTION (ENDOSCOPIO)	NO
PRECISION CUTTING	SI
PEG TRANSFER	NO, cuenta con ejercicios parecidos
SUTURE WITH INTRACORPOREAL KNOT	NO
SUTURE WITH EXTRACORPOREAL KNOT	NO
TRABAJO CON 2 PINZAS	NO

Tabla 4: Comparación de ejercicios.

Fuente: Elaboración propia.

Luego de llevar a cabo el análisis de la tabla comparativa y obtener con ello unos resultados, se procede a realizar una reunión previa al desarrollo del entrenamiento con presencia de todo el grupo de trabajo Scrum, donde se concluyó que se implementarían los siguientes niveles:

- INTRODUCTION
- PEG TRANSFER
- FOLLOWING TRAJECTORIES

Teniendo en cuenta que para este momento no se cuenta con la detección de posición en tiempo real de ninguna pinza, debido al daño sufrido en el sensor Leap Motion de la versión 1, se debe buscar la manera de realizar esta función lo mas rápido posible y en el mejor de los casos, poder realizar una detección de 2 pinzas, con el fin de realizar los ejercicios de la mejor forma y así tener un buen programa de entrenamiento FLS.

#### **3.2.5.4. Sprint Review**

Durante el sprint review se concluyó que se alcanzaron todos los objetivos planteados. La evaluación con el Scrum master fue la esperada por el grupo de trabajo Scrum y se puede continuar con el siguiente *sprint*.

#### **3.2.6. SPRINT 2**

Para realizar el presente *sprint* se tienen en cuenta las decisiones tomadas en el *sprint 1* con respecto al programa de entrenamiento y los requerimientos planteados por los interesados, todo ello con el fin de ayudar a mejorar las habilidades del cirujano en proceso, por lo cual se propone la elaboración de tres niveles del entrenador, cada uno de ellos con sus respectivos sub-niveles y su configuración de dificultad programable, lo cual permite ir mejorando las habilidades.

En el nivel nombrado como *Introduction*, el usuario podrá realizar una familiarización con el manejo del endoscopio para luego utilizarlo en los niveles posteriores.

En el nivel *Peg Transfer*, el usuario tendrá la posibilidad de realizar funciones fundamentales como trasladar objetos de un lado a otro y efectuar movimientos por toda el área de trabajo.

Por otra parte, en el siguiente nivel llamado *Following Trajectories*, se busca que el usuario pueda cumplir con movimientos básicos de alta precisión, con el fin de obtener experiencia y evolución en las habilidades necesarias para realizar un procedimiento laparoscópico.

Teniendo en cuenta lo mencionado en los párrafos anteriores, se realizó el sprint baclog para el *sprint 2* que se podrá observar en la figura 36.

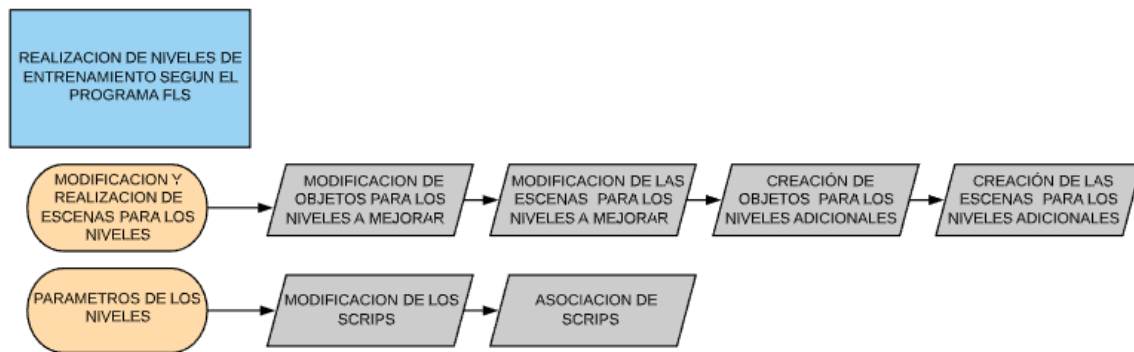


Figura 36: Sprint Backlog Sprint 2.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6.1 Sprint Planning

Para desarrollar el sprint planning, primero se realizaron los objetos con los cuales se va a trabajar en el interior de las escenas. Seguidamente se tuvo en cuenta el grado de dificultad de los niveles, permitiendo que éste incremente a medida que el usuario presente mejoras en el desarrollo de los ejercicios.

Considerando lo anterior, se procede con el sprint planning el cual se muestra en la tabla 5.

Item Backlog	Tareas	Responsable	Tiempo
Modificación y realización de escenas para los niveles	Modificar objetos Peg Transfer	Equipo de desarrollo	3 días
	Modificar escenas Peg Transfer	Equipo de desarrollo	8 días
	Modificar objetos Trayectories	Equipo de desarrollo	3 días
	Modificar escenas Trayectories	Equipo de desarrollo	8 días
	Realizar objetos Introduction	Equipo de desarrollo	3 días
	Realizar escenas Introduction	Equipo de desarrollo	8 días
Parámetros de los niveles	Modificar scrips Peg Transfer	Equipo de desarrollo	2 días
	Modificar scrips Trayectories	Equipo de desarrollo	2 días

Tabla 5: Sprint Planning Sprint 2.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6.1.1 Realización de los objetos para usar en la escenas

- Realización de objetos para el nivel 'Introduction'

En esta sección se diseñaron los objetos con los cuales se trabajaría en el nivel "Introduction", donde se realizaría la implementación del endoscopio, herramienta básica y muy necesaria en el entrenamiento.

Para crear los objetos pertenecientes a este nivel, primero definimos los ejercicios a realizar.

Este nivel introduction es mencionado para la certificación del progrma FLS pero no se especifican los ejercicios que se deben realizar, por lo cual se implementaron dos subniveles pertenecientes al programa de entrenamiento LSS [8] donde se efectúa la familiarización con el endoscopio.

Los parámetros de tiempo total no están establecidos en ninguno de los dos programas, solo el número de objetos a enfocar el cual es 10, por esta razón, primero se probó el programa por los desarrolladores de tal manera que se pudiera proporcionar un tiempo prudente a los usuarios para que sean capaces de lograr el objetivo final del ejercicio. Seguidamente se disminuyeron el número de objetivos que deben ser eliminados(se deben eliminar 6) debido a que los usuarios finales no cuentan con demasiado tiempo para realizar la totalidad del ejercicio.

En el nivel Introduction el usuario deberá enfocar con la cámara un objetivo, así mismo existirán obstáculos dentro del área con el fin de agregar dificultad a los ejercicios.

Teniendo claro los objetos que se utilizarán en los ejercicios, proseguimos con la creación de los objetos.

El objetivo a enfocar se puede observar en la figura 37.

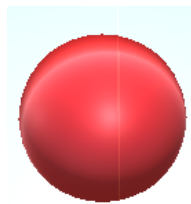


Figura 37: Esfera objetivo.

Fuente: Elaboración propia.

Los objetos que permitirán al usuario reconocer donde debe enfocarse se aprecian en la figura 38, y los obstáculos en el entorno se muestran en la figura 39.

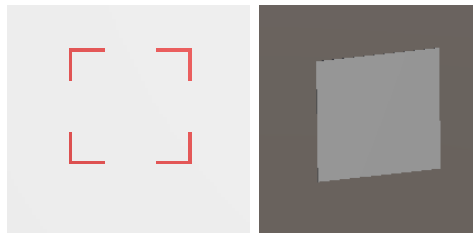


Figura 38: Visor.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 39: Obstáculos.  
Fuente: Elaboración propia.

- Realización de objetos para el nivel 'Peg Transfer'

Como primera medida se define en este nivel de entrenamiento los ejercicios a realizar, con ello se inicia la creación de los objetos en las escenas.

En el nivel Peg transfer el usuario tendrá como objetivo mover un anillo de un lado a otro, donde tendrá como finalidad colocarlos en uno de los recipientes o base, siguiendo métricas diferentes en cada uno de los subniveles.

Los parámetros de tiempo total, tiempo de destrucción del anillo y cantidad de objetos que deben ser insertados, son definidos según el programa de entrenamiento FLS, por lo cual el usuario no está en libertad de elegir ninguno de ellos. Inmediatamente inicia el nivel aparece uno de los anillos y empieza a correr el tiempo de destrucción del objeto acompañado del tiempo total en que se va realizando el ejercicio; por lo tanto, el tiempo límite definido es de 4 minutos 50 segundos para insertar 6 aros que aproximadamente deben ser destruidos (se destruyen cuando se insertan) en un tiempo de 45 segundos, estos parámetros permitirán cumplir con el objetivo establecido por el programa de entrenamiento.

Así mismo cada que se inserte uno de los objetos este será destruido, aparecerá un nuevo objeto, se guardará en el contador de objetos insertados para observar el avance del usuario y nuevamente iniciará el conteo de tiempo de destrucción.

La explicación de los subniveles Peg Transfer se podrán apreciar en el Anexo B - Explicación Niveles .

Teniendo claro los objetos que se utilizarán en los ejercicios proseguimos con la creación de los objetos.

Para la inserción en el recipiente se creo solo un anillo que se puede apreciar en la figura 40 el cual será utilizado en todos los subniveles correspondientes a este nivel.

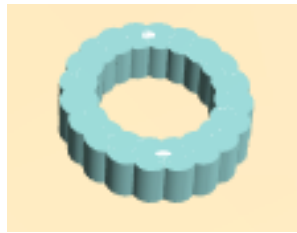


Figura 40: Anillo.  
Fuente: Elaboración propia.

Se crearon los recipientes para insertar los anillos construidos, un recipiente en forma de caja con un cilindro en medio para los subniveles 1,2, una base con un cilindro en medio para el subnivel 3 y un recipiente sin el cilindro para el subnivel 4.

Estos objetos se muestran en la figura 41.

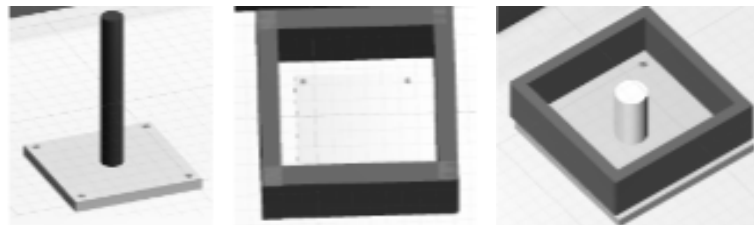


Figura 41: Recipientes del entorno.  
Fuente: Elaboración propia.

Se creó un recipiente encargado de sostener el anillo en el subnivel 4, de tal manera que el usuario pueda cruzar por la trayectoria con el anillo en la figura 40. El recipiente y la trayectoria se aprecian en la figura 42.

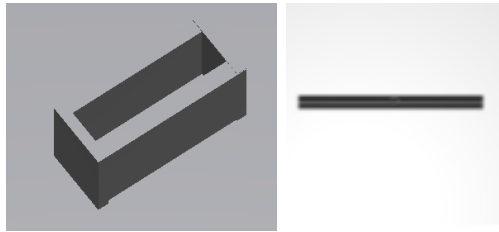


Figura 42: Objetos subnivel 4.

Fuente: Elaboración propia.

- Realización de objetos para el nivel 'Following Trajectories'

Como primera medida se define en este nivel de entrenamiento los ejercicios a realizar, con ello se inicia la creación de los objetos en las escenas.

En el nivel Following trajectories el usuario tendrá como objetivo tomar con la pinza una aguja la cual se muestra en la figura 43 y con la punta, deberá seguir la trayectoria que aparezca en escena, esto se realiza con el fin de que el usuario gane firmeza en los movimientos que debe entrenar.

Para este nivel en específico, es necesario realizar un objeto que se instanciará varias veces generando de esa manera las diferentes trayectorias que el usuario debe ejecutar a lo largo de los subniveles, este objeto se muestra en la figura 43.

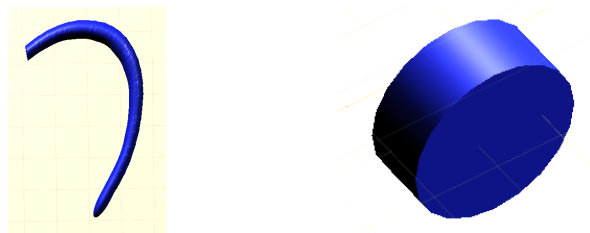


Figura 43: Objetos subnivel 4 Peg Transfer.

Fuente: Elaboración propia.



### 3.2.6.1.2. Realización de escenas y scripts del nivel 'Introduction'

Se realizaron las escenas del nivel Introduction con los objetos presentados anteriormente.

Teniendo en cuenta que en los ejercicios pertenecientes al programa de entrenamiento FLS se encuentra un nivel introductorio enfocado en el manejo del endoscopio, se procede a realizar dos subniveles con dichas características.

Para estas escenas se procedió a utilizar los scripts para eliminar los objetivos enfocados e instanciación de ellos en posiciones aleatorias, además de los scripts para contabilizar los objetivos enfocados y los objetivos totales puestos en escena.

- Escena 1 - Enfocar un objetivo a 0 grados.

Para la realización de esta escena se tomó el objetivo de la figura 37, el visor e indicador de la figura 38 y los obstáculos de la figura 39. Cabe resaltar que el indicador en la escena el cual está unido al visor, es el encargado de detectar si el objetivo ha sido enfocado correctamente, por esta razón es invisible, con la finalidad de dificultar un poco el ejercicio para el usuario.

Esta escena se puede observar en la figura 44.

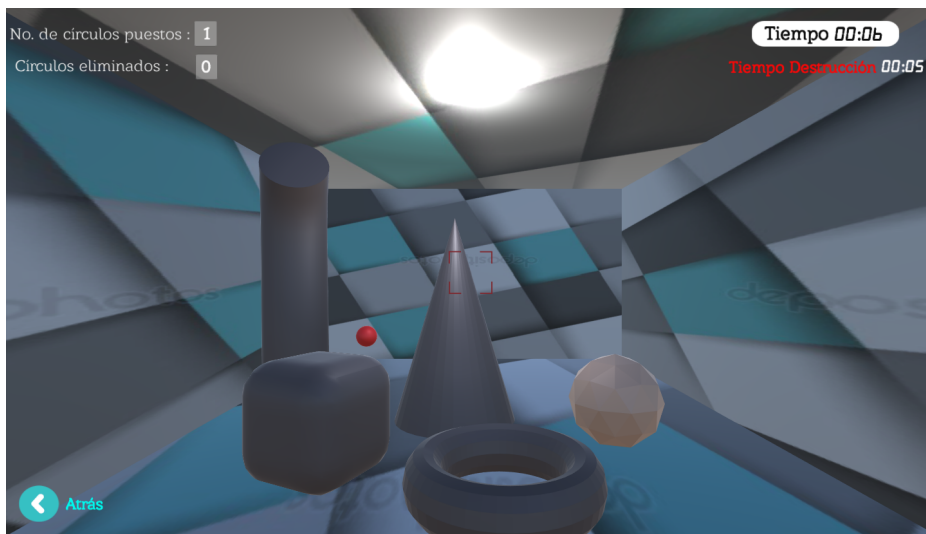


Figura 44: Escena del nivel 1 Introduction.

Fuente: Elaboración propia.

En este nivel se busca familiarizar al usuario con los movimientos del endoscopio que se realizarán por todo el entorno de trabajo con la mano izquierda, para finalmente ser usado en los próximos niveles.

La idea principal del ejercicio es enfocar un número de objetivos en un tiempo determinado.

- Escena 2 - Enfocar un objetivo a 30 grados.

Para la realización de esta escena se tomó el objetivo de la figura 37, el visor e indicador de la figura 38 y los obstáculos de la figura 39. Cabe resaltar que el indicador en la escena el cual esta unido al visor, es el encargado de detectar si el objetivo ha sido enfocado correctamente, por esta razón es invisible con la finalidad de dificultar un poco el ejercicio para el usuario.

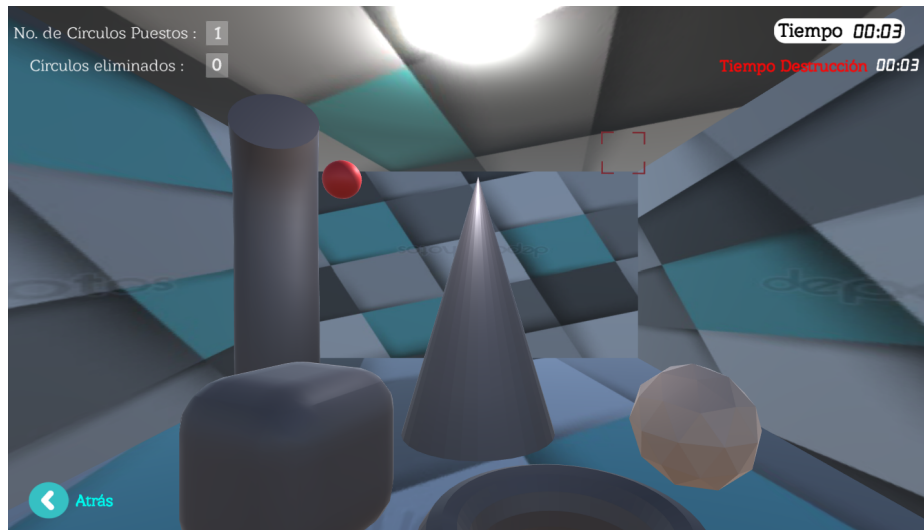


Figura 45: Escena del nivel 2 Introduction.

Fuente: Elaboración propia.

Los scripts utilizados en esta escena son los mismos implementados en la escena anterior, la única diferencia es que el visor e indicador se encuentran ubicados a 30 grados de la cámara, lo que incrementa el nivel de complejidad del subnivel Introduction y permite al usuario familiarizarse con un ángulo de visión diferente, puesto que en un procedimiento laparoscópico no siempre se podrá tener el ángulo de visión deseado.

### 3.2.6.1.3. Modificación escenas y scripts del nivel 'Peg Transfer'

Se modificaron las escenas del nivel Peg Transfer con los objetos presentados anteriormente.

Teniendo en cuenta que en el prototipo v1 se manejaron objetos diferentes, se procedió con la eliminación de ellos y seguidamente se realizó la instanciación del objeto creado anteriormente para iniciar con la práctica de los ejercicios.

Considerando los problemas con los cuales cuenta el prototipo v1 mencionados en el *Sprint 0*, se decidió iniciar con la modificación de niveles según el programa de entrenamiento y arreglar los scripts dañados en el *sprint 3*. Es importante mencionar que en los scripts para determinar el tiempo límite solo se modificó el tiempo total, y el temporizador se utilizó en el tercer subnivel de Peg Transfer, en el resto de subniveles solo se colocó para observar el tiempo de inserción por objeto. Con respecto al cambio de color del objeto cuando este ha sido tomado por la pinza, se modificó el script debido a que en esta ocasión debe cambiar el color de cada cilindro perteneciente al anillo. El conteo de objetos puestos en escena y los insertados se mantuvieron.

Adicionalmente se realizó un script para controlar la funcionalidad de los botones pinzas y endoscopio. EL botón endoscopio permite el manejo de la cámara dentro del entorno unity 3D, el cual será manejado por la mano izquierda, y el botón pinzas, permite detener el movimiento del endoscopio para volver al manejo de las pinzas.

- Escena 1- Llevar un anillo a un recipiente.

Para modificar esta escena se usó un recipiente nombrado en la figura 41, el anillo de la figura 40.

Esta escena se puede observar en la figura 46.

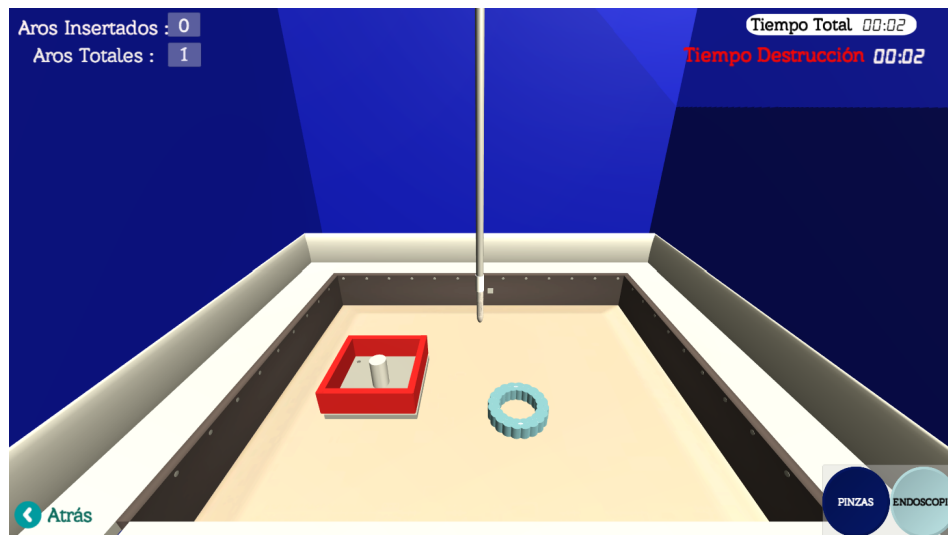


Figura 46: Subnivel 1 del nivel Peg Transfer.

Fuente: Elaboración propia.

En este nivel se busca entrenar al usuario en acciones como el desplazamiento, mientras se traslada un objeto a un lugar específico. Este sub nivel contiene un aro en un lugar de la escena, y en el otro se encuentra un recipiente. El objetivo es poder trasladar el aro hasta donde se encuentra el recipiente y seguidamente insertar el aro por medio del cilindro.

- Escena 2 - Llevar un anillo a un recipiente, los dos con aparición aleatoria.

Para la modificación de este nivel se tomó uno de los recipientes de la figura 41.

El único script adicionado para la realización de esta escena fue el encargado de generar la posición aleatoria de los objetos cuando son instanciados.

Esta escena se puede observar en la figura 47.

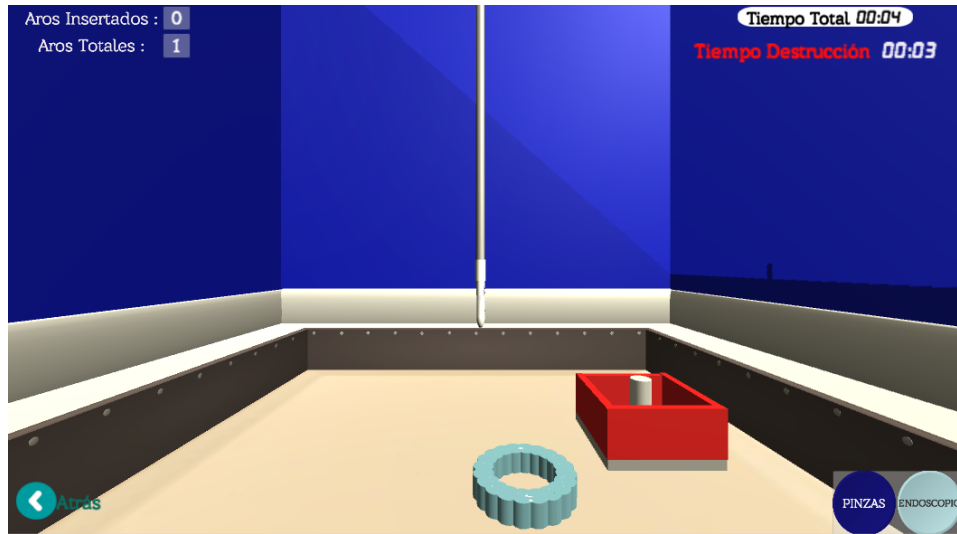


Figura 47: Subnivel 2 del nivel Peg Transfer.  
Fuente: Elaboración propia.

La función de este subnivel es muy similar al anterior, la principal y única diferencia se presenta en las posiciones de inicio, en las cuales los objetos “aro” y “cubeta”, comienzan en posiciones arrojadas por el sistema al interior de la escena de manera aleatoria, con el objetivo de obligar al usuario a desplazarse por todo el espacio, de esta manera se familiarizará con el movimiento en el entorno.

- Escena 3 - Llevar un anillo a los recipientes correspondientes.

Para la modificación de esta escena se tomó uno de los recipientes de la figura 41, el anillo de la figura 40 y la pinza principal.

En esta escena se utilizan scripts para la instanciación del anillo cada 45 segundos. Además de ello, se hace uso de un script capaz de brindar un color aleatorio al anillo cada que se instancia, buscando de esta manera que sea insertado en los recipientes del color que le corresponde. Por otra parte, se usa un script responsable de eliminar el anillo si este cae fuera del lugar donde debe ser insertado o si es insertado en los dos recipientes que le corresponden, lo que permitirá generar una puntuación.

Esta escena se puede observar en la figura 48.

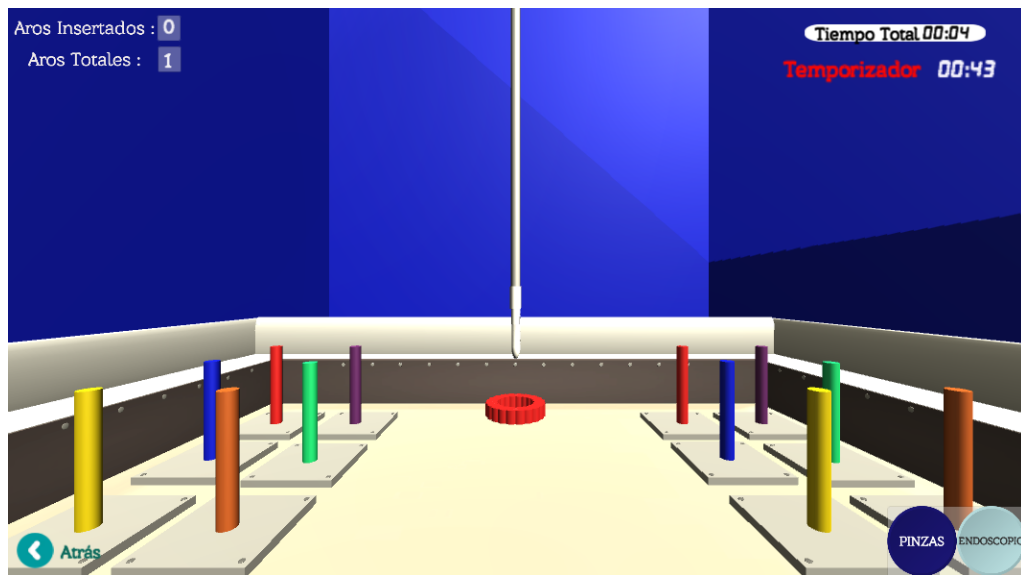


Figura 48: Subnivel 3 del nivel Peg Transfer.

Fuente: Elaboración propia.

El objetivo principal en este subnivel es plasmar los requerimientos establecidos por el programa FLS, con el fin de contar con un buen nivel de entrenamiento y que esté certificado por el programa.

El nivel es distribuido a lo largo de la escena, donde la idea es trasladar cada uno de los aros ubicados en la mitad de la escena de extremo a extremo.

- Escena 4: Llevar un anillo a un recipiente al pasar por una trayectoria.

Para la realización de esa escena se tomó uno de los recipientes de la figura 41, el anillo de la figura 40, la pinza principal y la trayectoria lineal de la figura 42.

En esta escena se realizó uso del script perteneciente a los subniveles 1 y 2, encargado de detectar que el anillo ha sido insertado en el recipiente. Adicionalmente se creó un script responsable de detectar si el anillo ha cruzado por la trayectoria lineal antes de ser insertado en el recipiente.

Esta escena se podrá observar en la figura 49.

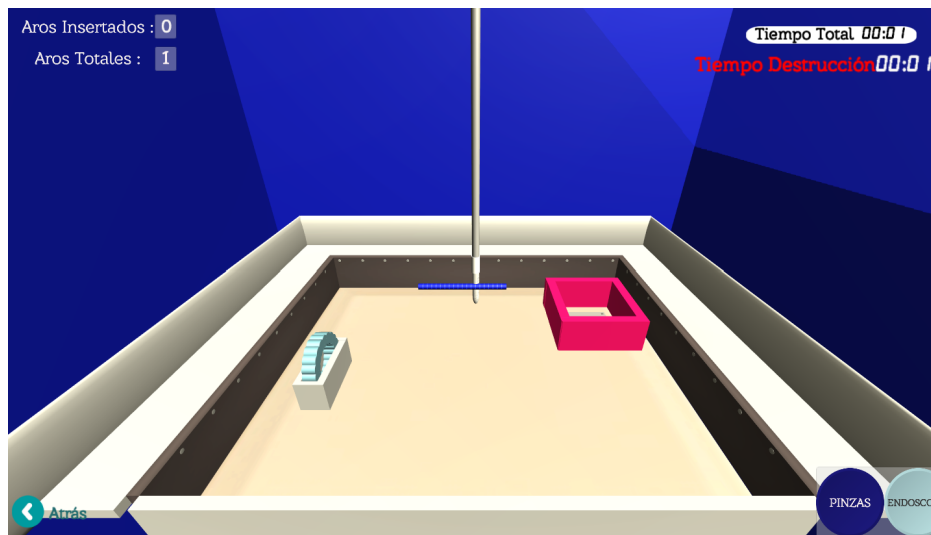


Figura 49: Subnivel 4 del nivel Peg Transfer.  
Fuente: Elaboración propia.

En este último sub nivel de “Peg Transfer”, se incrementó la dificultad con el propósito de obligar al usuario a hacer un movimiento específico. Este nivel fue implementado debido a que se encuentra en un entrenador virtual que cuenta con ejercicios basados en el programa FLS.

#### 3.2.6.1.4. Modificación de escenas y scripts del nivel Following Trajectories

Para el desarrollo de este nivel de entrenamiento, se tuvieron en cuenta reuniones previas con el equipo Scrum, debido a que el programa FLS no contaba con un nivel de entrenamiento con enfoque en trayectorias, este nivel se realizó de esta manera puesto que solo se contaba con la detección de posición de una sola pinza, y para cumplir a cabalidad el nivel “Suture with intracorporeal knot” son necesarias dos de ellas. Finalmente se lleva a cabo la construcción del nivel de tal manera que cumpla con los objetivos del nivel estándar, como lo son familiarizarse con los instrumentos de trabajo, adquirir destreza en el entrenamiento y ganar seguridad. Se realizan niveles progresivos, con el propósito de que el cliente realice recorridos finos con la pinza, cada vez más complejos y desplazándose por todo el entorno.

Con lo mencionado anteriormente se decide solo hacer cambios en la forma de las trayectorias a realizar, puesto que el nivel implementado en el prototipo v1 es una buena manera de reemplazar el nivel sutura.

Para estas escenas se procedió a utilizar los nuevos scripts de levantar y soltar objetos, además de los scripts de apertura, cierre y rotación de la pinza. Se mantuvieron los scripts para la medida del tiempo, solo se adicionó la medida de tiempo en la cuarta trayectoria de cada subnivel ya que es un parámetro definido por el programa FLS, y permaneció el cambio de color del objeto al ser tomado por la pinza (La aguja cambia de color azul a color verde). Los scripts para la construcción de las trayectorias fueron modificados, reemplazando las ecuaciones matemáticas encargadas de generar las trayectorias.

Adicionalmente a cada uno de las pinzas se les agregó un script que permite saber la distancia a la cual se encuentran de la trayectoria a seguir, si sobrepasan la distancia establecida en el script es contabilizada como error. Esto puede observarse en la figura 50.



Figura 50: Distancias próximas a la trayectoria.  
Fuente: Elaboración propia.

Las distancias y los errores son guardados y al completar los subniveles, podrá observarse en los resultados la distancia mínima, máxima y promedio a la cual estuvo el usuario de la trayectoria. Esto se muestra en la figura 51.



Figura 51: Resultados nivel Following Trajectories.  
Fuente: Elaboración propia.

Finalmente se utilizan los sprints encargados del manejo del endoscopio y las pinzas, como se realizó en el nivel Peg transfer.

- Escena 1 - Seguir trayectorias Lineales

Dentro de la escena se encuentran 4 trayectorias que aparecen en escena a medida que el usuario cumple cada una de ellas. La idea principal en este primer subnivel, es seguir trayectorias rectas, puesto que son más cómodas para el usuario y tienen un nivel de dificultad menor. Aquí se presentan rectas tanto horizontales, como verticales y diagonales que incrementan su complejidad con el avance del nivel, esto permitirá que el usuario se adapte al movimiento en los 3 ejes.

La escena se puede observar en la figura 52. donde solo se muestra la primer trayectoria del subnivel.

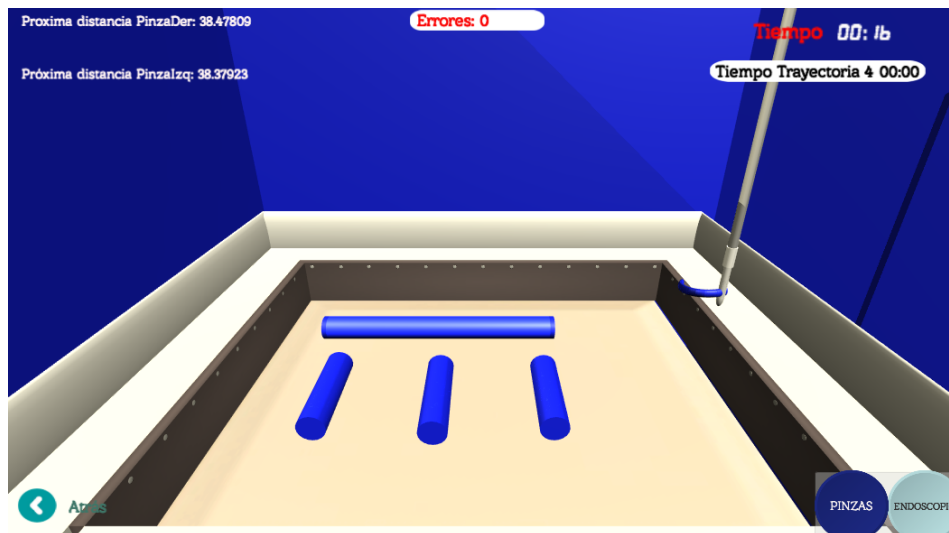


Figura 52: Trayectoria 1 del nivel 1 en Following trajectories.  
Fuente: Elaboración propia.

- Escena 2 - Seguir trayectorias curvas

Después de haber obtenido habilidades con las rectas, pasamos a esta instancia del nivel a elaborar curvas, manteniendo el incremento de la dificultad, todo gradualmente.

Dentro de esta escena se encontrarán 4 trayectorias que cambiarán a medida que el usuario va avanzando. Se inicia con trayectorias curvas discontinuas que permitirán al usuario mejorar el manejo de la pinza laparoscópica y sucesivamente aparecerán trayectorias más complejas. Esto se realiza para que el usuario logre hacer movimientos un poco más complejos y tenga una mejor percepción del espacio de trabajo.

La escena se podrá observar en la figura 53. donde solo se muestra la primer trayectoria del subnivel.

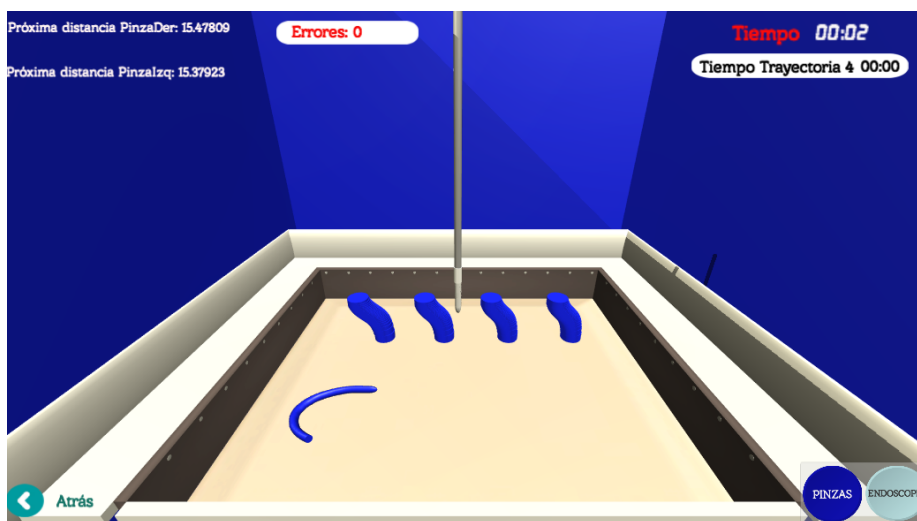


Figura 53: Trayectoria 1 del nivel 2 en Following trajectories.  
Fuente: Elaboración propia.



- Escena 3 - Seguir trayectorias espirales

La complejidad de este nivel, requiere que el usuario cuente con un grado de habilidad mayor, el compendio de ejercicios es de alta concentración.

La finalidad de este subnivel es lograr que el usuario este en la capacidad de realizar una trayectoria espiral de tercera dimensión, por lo cual la primer trayectoria consta de movimientos menos complejos, para luego efectuar seguimiento de trayectorias espirales en dos ejes de movimiento. Finalmente en el último nivel, el cliente se enfrentará a la prueba de realizar un espiral de Arquímedes en 3D, con el fin de utilizar el movimiento curvilíneo en el espacio de trabajo (los 3 ejes). Esto se realiza con el objetivo de mejorar la percepción del espacio del usuario. La escena se podrá observar en la figura 54, donde solo se muestra la primer trayectoria del subnivel.

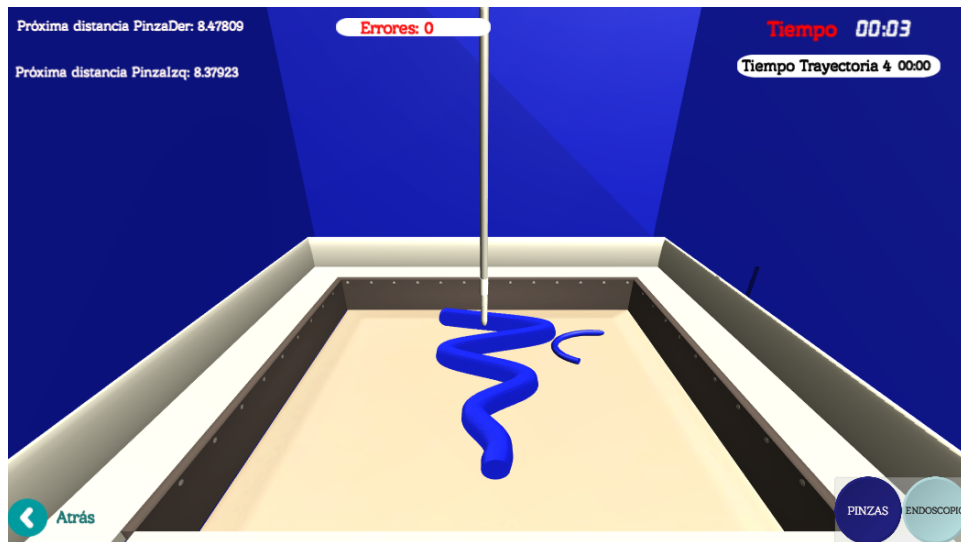


Figura 54: Trayectoria 1 del nivel 3 en Following trajecories.  
Fuente: Elaboración propia.

- Escena 4 - Seguir trayectorias helicoidales.

Por último nos encontramos con el sub nivel 4, en el cual se buscó realizar como trayectoria final, una trayectoria que representara los movimientos necesarios para realizar un nudo extracorporeo, buscando de esta manera sustituir de la mejor manera uno de los ejercicios establecidos por el programa de entrenamiento FLS.

Cabe aclarar que, a lo largo del subnivel, seguiremos pasos previos que se necesitan para hacer una nudosidad. En las primeras escenas el usuario realizará una secuencia de circunferencias, para luego realizar una especie de recta con parte curva en su extremo, para posteriormente realizar una unión de los ejercicios, simulando un nudo.

La escena se podrá observar en la figura 55, donde solo se muestra la primer trayectoria del subnivel.

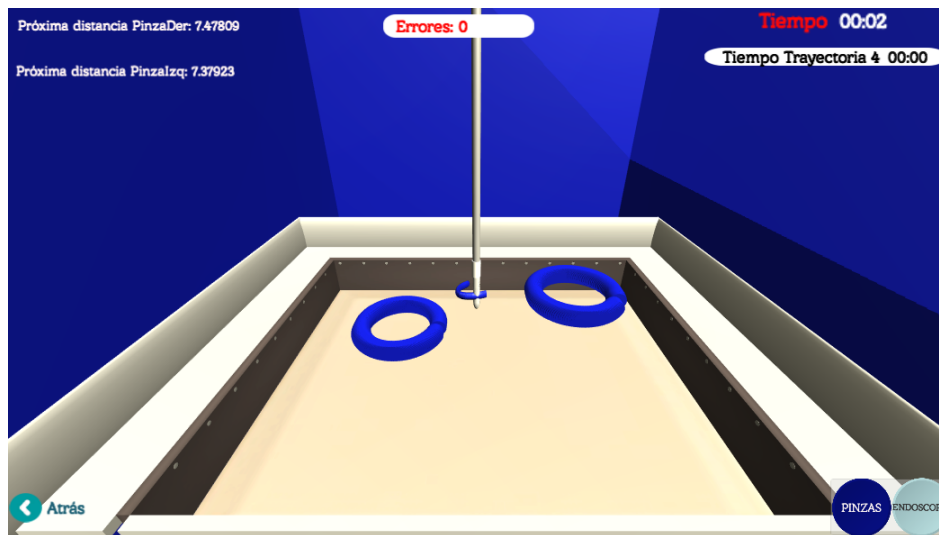


Figura 55: subnivel 1 del nivel 4 Following trayecories.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.6.1.5 Sprint review

Durante la reunión con el scrum master se define que los objetivos propuestos en el sprint 2 se cumplieron a cabalidad y se continúa con la realización del siguiente sprint.

### 3.2.7. SPRINT 3

Para cumplir con el *sprint* número 3 se iniciaría con el objetivo principal, donde encontrar la posición de la pinza en tiempo real es indispensable para el desarrollo de cada uno de los ejercicios implementados en el *sprint* anterior.

En la figura 56 se pueden observar las tareas establecidas con las correspondientes subtareas que se tomarán como *sprint backlog* del *sprint 3*.

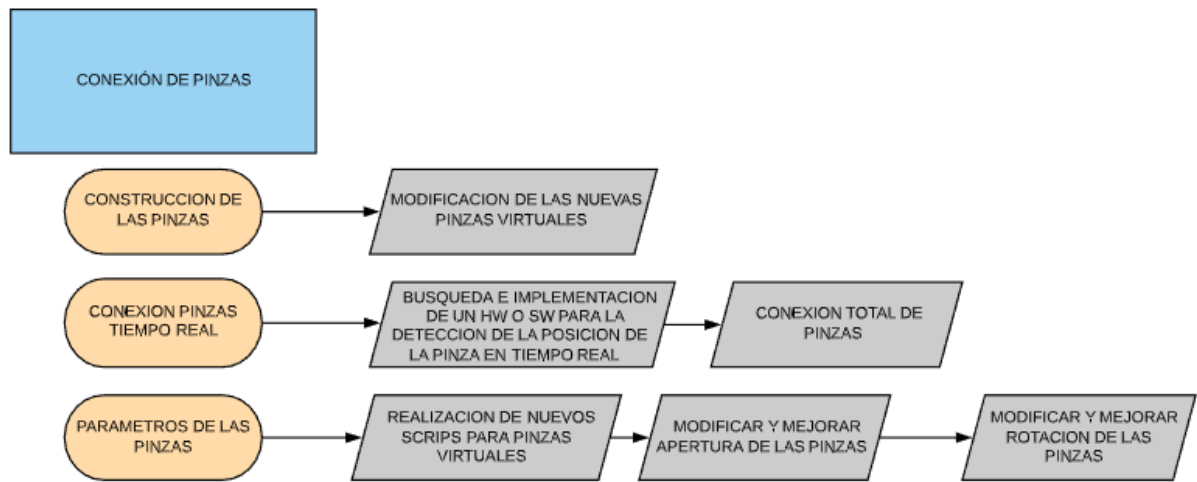


Figura 56: Sprint Backlog Sprint 3.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.7.1 Sprint Planning

Considerando el sprint backlog observado en la figura 56 se realizó el sprint planning que se aprecia en la tabla 6.

Item Backlog	Tareas	Responsable	Tiempo
Construcción de las pinzas	Modificación de las nuevas pinzas virtuales	Equipo de desarrollo	8 horas
Parámetros de las pinzas	Realización de nuevos scripts para pinzas virtuales	Equipo de desarrollo	8 horas
	Mejorar apertura de las pinzas	Equipo de desarrollo	8 días
	Mejorar rotación de las pinzas	Equipo de desarrollo	8 días
Conexión pinzas en tiempo real	Búsqueda e implementación de HW o SW para la detección de la posición	Equipo de desarrollo	Constante
	Conexión total de las pinzas	Equipo de desarrollo	8 días

Tabla 6: Sprint Planning Sprint 3.

Fuente: Elaboración propia

### 3.2.7.1.1 Búsqueda y selección de tecnología

Para seleccionar la tecnología que permita obtener la posición tridimensional (x, y, z) de la pinza, se realiza una búsqueda de dispositivos hardware y software que se nombrarán a continuación:

- Dispositivo Kinect: Es un dispositivo desarrollado por Microsoft en el año 2010 para la consola de juegos Xbox 360. Este dispositivo utiliza una cámara tipo RGB capaz de leer cuerpos y reconocer sus gestos en 3 dimensiones, y un chip apto para procesar datos de profundidad. [51]
- Sensor Leap Motion: Este dispositivo tiene la capacidad de decodificar los gestos del usuario. Cuenta con un par de cámaras estéreo infrarrojas con iluminación LED. Los datos del sensor son recibidos especialmente los provenientes de las manos, dedos y brazos. [52]
- The Open Computer Vision Library(OpenCV): La librería OpenCV está dirigida a la visión por computador en tiempo real. Entre sus áreas de aplicación se encuentran: la segmentación y reconocimiento de objetos; reconocimiento de gestos, seguimiento del movimiento, estructura del movimiento, y robots móviles. [53]

Con la ayuda del equipo Scrum se encontró un software con referencia “Asset”, desarrollado en el mismo motor de desarrollo del proyecto unity 3D, su nombre es “Color Tracker”.

- Color Tracker: El programa color tracker brinda al desarrollador acciones de detección y seguimiento de color, en la documentación del archivo se encuentra por defecto la explicación para adicionar el paquete al proyecto, con el objetivo de poder utilizarlo y configurar características según las necesidades. El color tracker permite agregar múltiples rastreadores con varios objetivos de color a la escena [54].

Teniendo en cuenta el funcionamiento de las tecnologías mencionadas anteriormente, se procede a analizar cual de ellas se implementará en el proyecto. En el caso del Kinect y el leap motion, detectan una figura en específico por lo cual se descartan; con respecto a la librería Open CV, los desarrolladores no cuenta con conocimiento previo y la información con respecto a la implementación de la librería en unity es limitada. Por último, el color tracker posee funcionalidades dentro del entorno y es fácil de manejar, por lo cual se decide trabajar con el en el proceso de desarrollo del trabajo de grado.

### 3.2.7.1.2. Conexión de pinzas con el entorno

- Modificación de la pinza virtual.

Considerando que la pinza realizada en el prototipo versión 1 presentaba problemas con algunas funciones como se mencionó en el *sprint 0*, se decidió realizar algunas modificaciones con respecto a su diseño para resolver los inconvenientes.

Por otra parte, se realiza el diseño de una segunda pinza puesto que entre las funcionalidades del color tracker se encuentra la detección de dos o muchos más elementos.

A continuación en la figura 57 se mostrará el diseño realizado en unity 3D de las dos pinzas mencionadas, las cuales difieren en el color para identificar una de la otra.

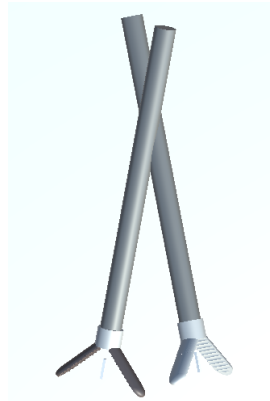


Figura 57: Pinzas Virtuales.  
Fuente: Elaboración propia.

- Permitir al usuario mover la pinza en tiempo real

Con el color tracker como tecnología escogida para la detección de posición de las pinzas, se inicia con el procedimiento.

El paquete color tracker realiza la detección de un color determinado por la paleta de colores y es indicado por un rastreador, estos elementos se pueden observar en la figura 58.

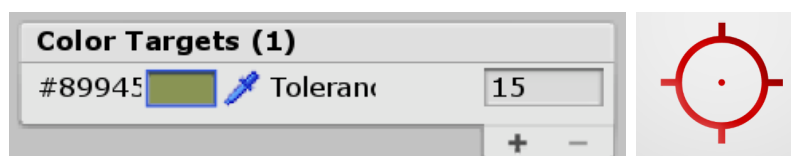


Figura 58: Paleta de colores y Rastreador.  
Fuente: Propia.

El problema con el que cuenta el color tracker es que no genera la posición del rastreador en Unity 3D, por lo cual se creó un script que permitiera seguir al rastreador realizando un suave desplazamiento. El script es adicionado a un objeto observado en la figura 59, el cual nos permitirá conocer la posición del rastreador.



Figura 59: Objeto Seguidor.

Fuente: Elaboración propia.

A continuación se realiza el escenario virtual en que trabajarán las cámaras para detectar las posiciones de las pinzas, esto se puede observar en la figura 60.

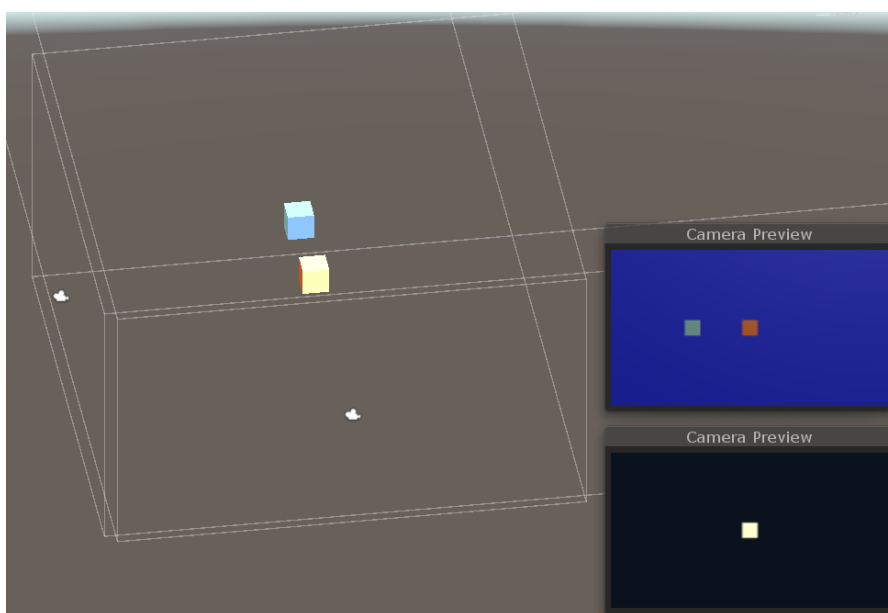


Figura 60: Escenario virtual de las cámaras.

Fuente: Elaboración propia.

El paquete de color tracker solo utiliza una cámara para realizar la detección de varios colores, pero en este caso se utilizarán dos, debido a lo cual se modificó un script que viene por defecto en el color tracker.

Cada cámara virtual observa una pantalla diferente, y las imágenes en ellas son generadas por las cámaras físicas conectadas mediante USB, las cuales se mencionaron en el capítulo 2.

Las cámaras virtuales están ubicadas con el fin de formar un área de desplazamiento en tercera dimensión, por donde el objeto mostrado anteriormente en la figura 60, seguirá su rastreador correspondiente.

Cada cámara detecta un rastreador diferente, por lo cual en la figura 60 se pueden observar los dos objetos que seguirán a los rastreadores. Una de las cámaras se encarga de generar la posición en los eje X y Y, y la otra encargada de dar la posición en el eje Z, por lo cual cada objeto realizará un desplazamiento diferente.

Teniendo en cuenta que se detectarán dos pinzas, se necesitarán dos objetos por cada una de ellas, lo que permitirá conocer las tres coordenadas por las cuales deben desplazarse.

Por otro lado, se genera un script con el cual se toman las posiciones X, Y y Z obtenidas de los objetos que se encuentran en movimiento en el escenario concerniente a las cámaras, este script se adiciona a una esfera invisible, una diferente para cada pinza, la cual se trasladará por todo el escenario de trabajo a la mayor velocidad posible. La esfera se puede observar a continuación en la figura 61.

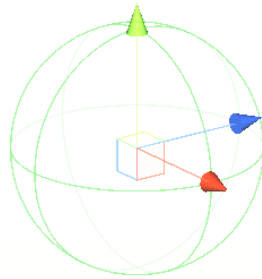


Figura 61: Indicador de Posición.  
Fuente: Elaboración propia.

Ahora bien, la esfera invisible será la encargada de proporcionar la posición a la pinza según los parámetros del escenario de trabajo, debido a que el espacio de las cámaras es mucho más pequeño y no puede ser observado por el usuario, por esta razón, se crea una función en el script que permita escalar el espacio de manera proporcional y que ayude a ubicar la esfera en el espacio de trabajo.

Además de ello, considerando que el espacio físico se encuentra limitado en el eje Z como se muestra en el capítulo 2 figura 21, la pinza no se podrá mover por la totalidad de la coordenada, por lo cual estas características debieron tenerse en cuenta al momento de realizar la escala en el espacio.

Para iniciar con el movimiento en tiempo real de las pinzas laparoscópicas se definen los colores que serán rastreados, en este caso verde y rosado, y adicionalmente se modifica el parámetro de tolerancia a los cambios de iluminación y el parámetro de exactitud de color, que están establecidos por defecto en el color tracker, esto puede observarse en la figura 62.

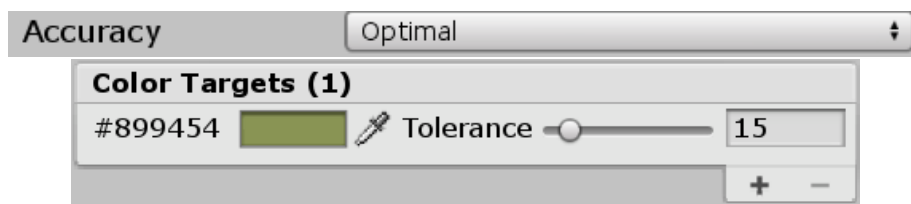


Figura 62: Exactitud y tolerancia en el color tracker.  
Fuente: Propia.

Como se mencionó en el capítulo 2, el prototipo se encuentra pintado en su interior de color blanco, esto con el objetivo de permitirle una mayor precisión a las cámaras a la hora de detectar el color, ya que no se verían en la tarea de diferenciar varios de ellos.

Finalmente se genera un segundo script, el cual le permitirá a la pinza desplazarse hacia la esfera invisible que le corresponda.

La explicación detallada se encontrará en el Anexo C - Detección y rastreo.

- Permitir al usuario abrir y cerrar la pinza en tiempo real

Como se mencionó en el *sprint 0* estas funcionalidades contienen errores, por lo cual se modificó completamente el código arduino responsable de enviar la información del computador al entorno virtual por el puerto serial. Además de ello, se modificaron los scripts en C# para abrir y cerrar las pinzas.

- Permitir al usuario rotar la pinza en tiempo real

Igual que en el item anterior, la información del sensor de rotación es enviada por el puerto serial hacia el entorno virtual, y los scripts responsables de generar el giro de las pinzas virtuales fueron modificados, tanto en Arduino como en C#.

- Permitir al usuario levantar y soltar objetos con las pinzas

Teniendo en correcto funcionamiento las principales tareas que debe realizar una pinza laparoscópica, se inicia con la familiarización del usuario con estas labores, por lo cual se prosigue con la modificación del nivel "Tutorial", donde el usuario deberá tomar el aro y levantarlo para que a continuación aparezca uno nuevo y realice la misma acción. El script que hace parte de la escena, se ha modificado con el fin de que sea capaz de detectar cuando se toma y suelta el aro, y cuando se encuentre levantado a una distancia prudente del suelo para que sea eliminado.

En la figura 63 se muestra el nivel tutorial.





Figura 63: Nivel tutorial.  
Fuente: Elaboración propia.

Al verificar que las funciones trabajan correctamente en este nivel, se procede con la adición de los scripts 'Levantar y soltar objetos', 'apertura y cierre' de la pinza y 'rotación de la pinza' en las pinzas de los niveles mencionados en el *sprint 2*.

### 3.2.7.1.3 Sprint review

Durante el sprint review se concluyó que los objetivos propuestos en el *sprint 3* se realizaron con éxito y sin ningún inconveniente. Adicionalmente se comentó la idea de modificar los ejercicios ya implementados en el *sprint 1* puesto que ya se cuenta con dos pinzas laparoscópicas, a lo que el equipo scrum decidió solo adicionar la segunda pinza en las escenas con sus funciones correspondientes, para que con cualquiera de ellas se puedan realizar los ejercicios planteados. Se continúa con el *Sprint 4* .

### 3.2.8. SPRINT 4

#### 3.2.8.1 Base de datos

Para el sprint número 4 se tuvieron en cuenta los parámetros evaluativos del programa de entrenamiento FLS, el cual menciona que se debe llevar un monitoreo de los evaluados para facilitar a los docentes la observación del progreso de los estudiantes.

Los scripts para la conexión entre el backend y las escenas no se modificaron, al igual que los casos de uso y diagramas de flujo establecidos en el prototipo v1. Esto podrá observarse en el ANEXO D - UML.

A continuación se muestra el Sprint Backlog en la figura 64.

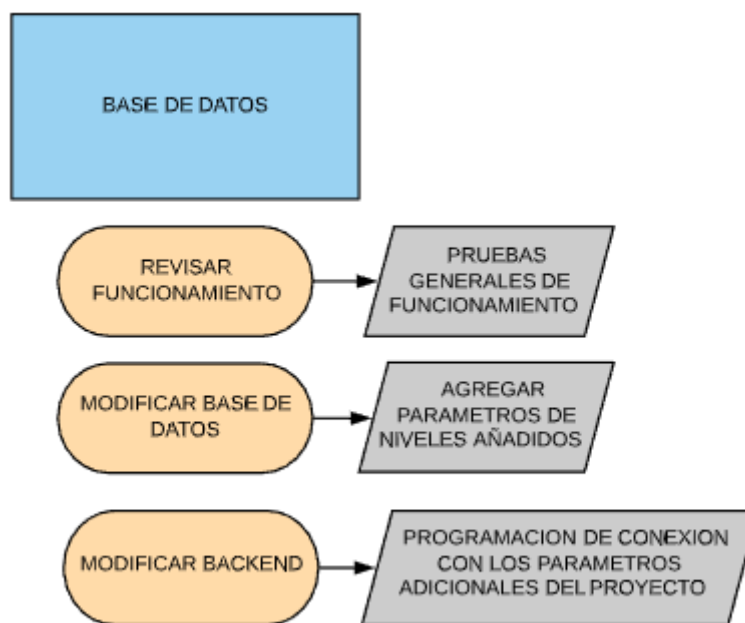


Figura 64: Sprint Backlog del sprint 4.

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.8.1.1 Sprint planning

Teniendo en cuenta el sprint backlog observado en la figura 64 se realizó el sprint planning que se muestra en la tabla 7.

Item Backlog	Tareas	Responsable	Tiempo
Revisar funcionamiento	Revisar funcionamiento de la Base de Datos	Equipo de desarrollo	1 día
Modificar Base de Datos	Realización de nuevos scripts para almacenar cambios de nuevos Niveles	Equipo de desarrollo	2 días
Modificar Backend	Programar la conexión de toda la Base de Datos	Equipo de desarrollo	8 horas

Tabla 7: Sprint Planning Sprint 4.

Fuente: Elaboración propia.

- Revisión del funcionamiento de la base de datos

Primero se probó el funcionamiento de la base de datos implementada en el prototipo versión 1. Para lograr este objetivo se realizaron pruebas del backend en la plataforma Postman, donde se enviaron y solicitaron datos de la DB por medio de código, las pruebas culminaron con éxito. Seguidamente se examinó el funcionamiento unido al entorno de desarrollo, donde se realizó un registro de usuario, se inició sesión y se ejecutaron algunos ejercicios para determinar si los datos estaban siendo almacenados debidamente, todo aquello no presentó ningún problema.

- Modificación de la Base de datos

Como se mencionó en la arquitectura del proyecto, la modificación de la base de datos es pequeña. Considerando que se agregó un nivel nuevo llamado 'Introduction', se creó una nueva tabla en xamp encargada de guardar el registro de puntaje del usuario, donde se utilizó un id\_user, tiempo, ObjPuestos, ObjCorrectos y nivel. El id es la llave principal de la tabla que auto incrementa cada que se guarda un resultado. El id\_user se encarga de definir el usuario que registró el resultado, seguidamente aparecen los objetos puestos en escena y luego los objetos correctos, en el caso del nivel 'Introduction' son los objetivos eliminados. Finalmente aparece la columna nivel, la cual define el nivel que registró el usuario. La tabla creada se puede observar en la figura 65.

	id	id_user	tiempo	objPuestos	ObjCorrectos	nivel
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	1	200	4.111111	1	1	1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	2	29	210.0592	1	0	1
<input type="checkbox"/> Editar Copiar Borrar	3	30	210.0592	1	0	1

Figura 65: Base de datos del nivel Introduction.

Fuente: Elaboración propia.

Adicionalmente se le agregó un parámetro al nivel following trajectories, el cual se encarga de guardar el tiempo total en realizar la cuarta trayectoria de cada nivel, este debe ser evaluado según el programa de entrenamiento.

El parámetro adicionado en la tabla correspondiente al nivel following trajectories se puede observar en la figura 66.

+ Opciones			id	id_user	nivel	errores	tiempo	tamObj	tiempoT4
<input type="checkbox"/>				1	1	1	692	335.4345	Grande
<input type="checkbox"/>				2	1	1	541	145.2519	Grande 144.7496
<input type="checkbox"/>				3	1	1	651	132.4961	Grande 132.0472
<input type="checkbox"/>				4	1	1	486	108.7302	Grande 108.2401
<input type="checkbox"/>				5	1	2	548	317.7867	Grande 314.5850

Figura 66: Base de datos del nivel following trajectories.

Fuente: Elaboración propia.

- Modificación del backend del programa

Se realizaron las sentencias POST y GET para la conexión de la tabla de introducción creada, tanto en UNITY con C# como en NODE JS con Javascript. Por otra parte se adicionó la solicitud y envío del parámetro añadido en el nivel trajectories.

- Realización y modificación de escenas para muestra de resultados.

Teniendo en cuenta que desde la versión 1 se define que el usuario estudiante tiene acceso a sus resultados y el usuario docente tiene acceso a cualquier resultado, se procede con adición del panel que permitirá el ingreso a las estadística del nivel 'Introduction', el cual se muestra en la figura 67.

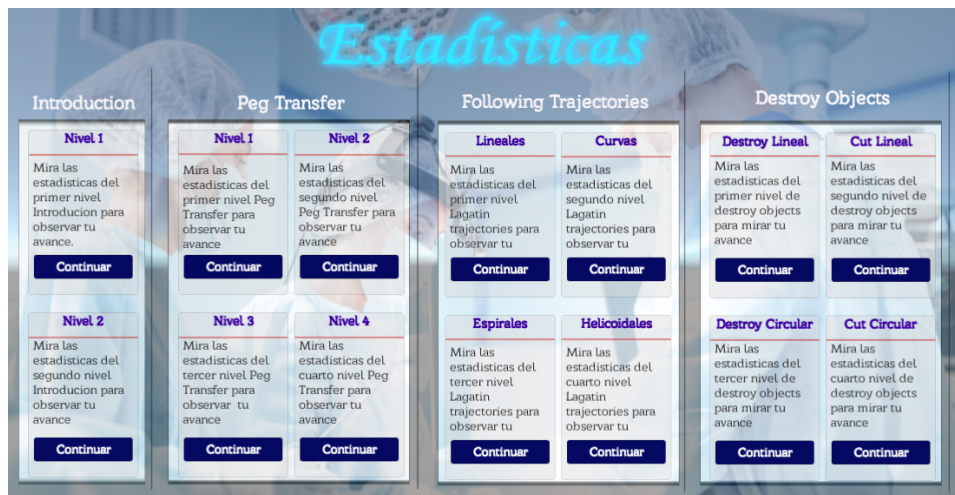


Figura 67: Escena estadísticas generales.

Fuente: Elaboración propia.

Para mostrar los resultados registrados del nivel escogido se tiene una escena específica para cada uno, puesto que cuentan con parámetros evaluativos diferentes.

En la figura 68 se aprecia la escena del nivel 'Peg Transfer' y se observa la escena del nivel 'Following Trajectories' con su parámetro adicional (tiempo de la trayectoria 4). Además de ello, se puede observar que en las escenas aparecen los criterios evaluativos del programa FLS, permitiendo de esta manera al docente apreciar si el estudiante ha cumplido con los objetivos del nivel.



Figura 68: Escena estadísticas de los niveles.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.8.1.2 Sprint review

Durante la reunión con el scrum Master se concluyó que los objetivos propuestos fueron cumplidos, por lo cual se procede con la realización del *Sprint 5*.

### 3.2.9. Sprint 5

#### 3.2.9.1 Interfaz gráfica

En el *sprint 5* se realizó el diseño y la navegación entre menús del nuevo nivel implementado y las escenas que contienen sus ejercicios. Adicionalmente se modificaron todas las escenas del proyecto, las cuales contarán con imágenes y sonidos que permitirán llamar la atención del usuario final.

En la figura 69 se podrá observar el Sprint Backlog del *sprint 5*.

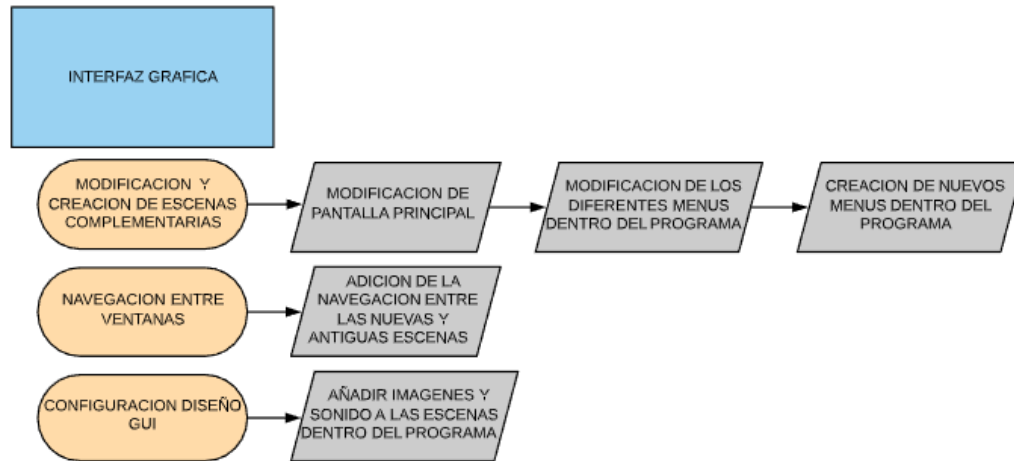


Figura 69: Sprint Backlog del Sprint 5.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 3.2.9.2 Sprint Planning

Considerando lo establecido por el sprint backlog mostrado anteriormente, se procede a realizar el sprint planning.

Item Backlog	Tareas	Responsable	Tiempo
Modificación y creación de escenas complementarias	Modificación de pantalla principal	Equipo de desarrollo	8 horas
	Modificación de diferentes menús dentro del programa	Equipo de desarrollo	8 horas
	Creación de nuevos menús dentro del programa	Equipo de desarrollo	8 horas
Navegación entre ventanas	Adición de la navegación entre las nuevas y las antiguas escenas	Equipo de desarrollo	8 horas
Configuración diseño GUI	Añadir imágenes y sonido a las escenas dentro del programa	Equipo de desarrollo	4 horas

Tabla 8: Sprint planning del Sprint 5.  
Fuente: Elaboración propia.

### 3.2.8.2.1 Modificación y creación de escenas

- Inicio, registro y configuración

La escena inicial en la cual el usuario realiza inicio de sesión mantuvo su funcionalidad, solo se modificó la interfaz con el fin de volverla agradable al usuario, se puede observar en la figura 70.

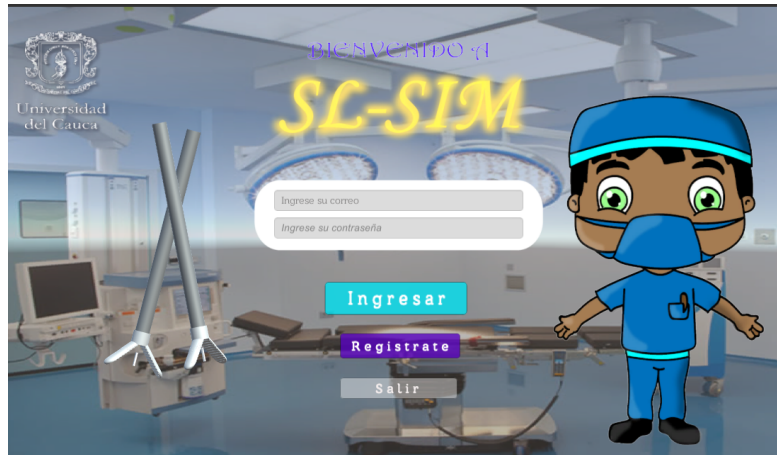


Figura 70: Inicio de la aplicación.  
Fuente: Elaboración propia.

Lo mismo se realizó con la escena de registro que se observa en la figura 71 y la escena de configuración de datos mostrada en la figura 72.



Figura 71: Menú de Registro.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 72: Escena de Configuración.  
Fuente: Elaboración propia.

- Menús

Se crearon los menús adicionales del nivel 'Introduction' y se modificaron los menús para la navegación de niveles, donde se puede escoger el ejercicio específico que se desea realiza en cada nivel.

El menú principal se puede observar en la figura 73.

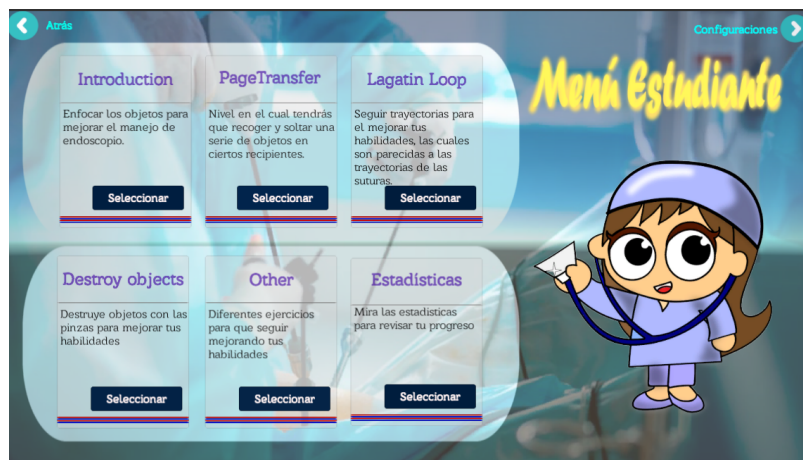


Figura 73: Menú Estudiante.  
Fuente: Elaboración propia.



Este menú es el mismo para docente y estudiante, solo que el la navegación hacia las estadísticas es diferente para cada uno. El estudiante ingresa directamente a sus registros, mientras el Docente a una escena en donde digitará el correo del estudiante para ver sus estadísticas.

El nuevo menú creado en el proyecto se muestran en la figura 74, el cual brinda al usuario la información necesaria de los requerimientos que debe completar para lograr el objetivo del nivel, de esta manera se modificaron los menús pertenecientes a los niveles del proyecto.



Figura 74: Menú nivel Introduction.

Fuente: Elaboración propia.

# Capítulo 4

## 4. Pruebas y Análisis de Resultados

En este capítulo se presenta la evaluación realizada al prototipo entrenador de cirugía laparoscópica con el fin de conocer su eficiencia. Las pruebas fueron realizadas a 7 estudiantes residentes de la Universidad del Cauca y un cirujano experimentado, todas ellas se efectuaron durante dos días en el laboratorio de simulación de la Facultad de Ciencias de la Salud. El objetivo fue conocer la aceptación de los usuarios con respecto al simulador, e identificar si a pesar de las limitaciones con respecto al tiempo de los evaluados se puede observar mejora en las habilidades de los participantes. Lastimosamente por falta de tiempo de los médicos esto no pudo evidenciarse de la mejor manera.

### 4.1. Criterios de evaluación

En este apartado se mostrará la manera en que se obtuvieron los datos para la evaluación del simulador, teniendo en cuenta que en algunos ítems se hará uso de la evaluación utilizada en el programa de entrenamiento FLS.

#### 4.1.1. Tipo de evaluación

Realizar una buena evaluación de este tipo de investigaciones es importante puesto que se puede conocer el potencial del prototipo y la eficacia, si se obtienen buenos resultados, esto permitirá su uso por parte de los estudiantes y el mejoramiento de sus habilidades.

Considerando que el análisis cuantitativo permite mayor exactitud a la hora de realizar un análisis de resultados en cualquier tipo de proyecto, se optó por utilizar esta opción, buscando efectuar una interpretación sencilla de los resultados obtenidos.

Como primera medida se realizó una encuesta a los usuarios que utilizaron el simulador, con el propósito de verificar la fiabilidad de la implementación y aplicación del programa de entrenamiento FLS.

Para realizar la evaluación con respecto a la experiencia del usuario con el uso del simulador, se tuvo en cuenta la escala de likert de 7 puntos, en la cual el usuario otorga un número entre el 1 y el 7, estos números representan el grado en el que se encuentra su nivel de satisfacción, donde respectivamente el número más alto 7 significa muy de acuerdo, y el número 1 totalmente en desacuerdo, como se muestra en la tabla 9 . Este sistema lo usará el usuario para calificar una serie de afirmaciones desplegadas en unas encuestas de satisfacción.

<b>MA</b>	Muy de Acuerdo
<b>A</b>	De Acuerdo
<b>LA</b>	Ligeramente de Acuerdo
<b>N</b>	Neutral
<b>LD</b>	Ligeramente en Desacuerdo
<b>D</b>	Desacuerdo
<b>MD</b>	Muy en Desacuerdo

Tabla 9: Escala Likert.  
Fuente:Elaboración Propia

#### 4.1.2. Selección de muestras y lugar

En cuanto a las muestras para realizar la validación del prototipo, se contó con personal universitario y profesional, entre los cuales la experiencia en cirugía laparoscópica era un factor variable, del cual se podrían obtener buenos resultados y conclusiones.

Las personas las cuales realizaron la interacción con el prototipo ya habían terminado sus estudios básicos en Medicina, y en el momento de la prueba se encontraban en años de residencia, desde los residentes de primer año (R1), hasta los residentes de segundo, tercer(R3) y cuarto año(R4). También se contó con un cirujano experimentado con basta trayectoria, el cual realiza intervenciones laparoscópicas con frecuencia en el Hospital Universitario San José de Popayán.

El lugar en el que se realizaron las pruebas fue la sala de simulaciones de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Cauca, la cual cuenta con un ambiente adecuado. Las razones por las cuales se decidió hacer las pruebas en este lugar, se debieron a la disponibilidad del espacio en las fechas propuestas a realizar las pruebas, otro punto a favor fue la ubicación del sitio, puesto que al ubicarse al lado del Hospital Universitario San José, los profesionales no necesitaban trasladarse a un lugar apartado, lo que permitía realizar las pruebas con estos estudiantes que regularmente cuentan con agendas bastante ocupadas. En la figura 75 se puede apreciar la sala de simulación.



Figura 75: Laboratorio de Simulación Universidad del Cauca.  
Fuente: Elaboración propia.

### **4.1.3. Elaboración de la encuesta**

Se elaboraron dos encuestas teniendo en cuenta características para clasificar los datos de los participantes y evaluar el trabajo realizado. Los datos personales de cada participante se necesitaban para tener la posibilidad de realizar varios análisis en el grupo de trabajo que manejó el prototipo. Para realizar un análisis con respecto a la usabilidad del prototipo se consideró la experiencia del usuario, con el propósito de efectuar una evaluación de rendimiento, comodidad y potencial del simulador.

La encuesta se podrá observar en el Anexo E - Protocolo, encuestas evaluativas y respuestas participantes.

### **4.1.4. Operación de la evaluación**

En esta sección se realizaron una serie de pasos que tuvieron como finalidad que el estudiante entendiera a cabalidad el uso del simulador y la forma de evaluación del mismo, teniendo en cuenta el programa de entrenamiento, se realizaron unas diapositivas con anterioridad para facilitar esta tarea.

Posteriormente, se realiza un protocolo con la finalidad de poder brindar a los profesionales claridad a la hora de realizar la prueba, lograr aclarar dudas antes de empezar el cual es necesario a la hora de hacer posteriores estudios y estadísticas.

A continuación, se presenta el protocolo de ejecución:

### **4.1.5. Protocolo en las pruebas:**

- Breve exposición del programa de entrenamiento FLS (Fundamentals Laparoscopic Surgery), donde se explican los ejercicios del simulador.
- Presentación del prototipo y sus especificaciones, donde se enfatiza en los niveles de entrenamiento que se realizaron y su relación directa con el programa de entrenamiento FLS.
- Descripción del funcionamiento del prototipo, con el objetivo de que los usuarios tengan claro el manejo de los controles dentro del prototipo, .
- Explicación general de la conexión del prototipo, para que en un próximo entrenamiento se conozca que se debe conectar, en donde conectar y como conectar, evitando de esta manera daños el el equipo.
- Informar las advertencias tanto de uso, como de funcionamiento, en las cuales se explican los cuidados a tener durante el entrenamiento.

El protocolo detallado con el paso a paso de las acciones que se realizaron durante la prueba de entrenamiento de los participantes se podrá observar en el Anexo E - Protocolo y encuesta evaluativa.

## 4.2. Interpretación y análisis de resultados

La interpretación de los resultados se dividió en dos secciones, la primera para los registros guardados en la base de datos, en la cual cada usuario tiene sus determinados puntajes según el proceso que realizó en el entrenamiento. Para la segunda sección se tienen en cuenta las encuestas que los usuarios respondieron después de terminar cada uno su debido entrenamiento.

A continuación en la tabla 10, se puede apreciar la definición de cada pregunta del cuestionario.

P1	¿Es cómodo y agradable el uso del simulador?
P2	¿La interfaz es clara, en cuanto a contenido, información y opciones?
P3	El entrenador cuenta con movimientos semejantes a los que se hacen con la pinza real.
P4	El sistema representa adecuadamente los ejercicios del programa FLS.
P5	¿Las estadísticas presentadas le ayudan a mejorar las habilidades?
P6	¿Presenta este entrenador virtual ventajas sobre el entrenador físico?
P7	¿Preferiría entrenar con este simulador, sobre el entrenador tradicional?
P8	¿El comportamiento del endoscopio virtual es similar al endoscopio real?
P9	¿Cree usted que la implementación del endoscopio es la adecuada los ejercicios propuestos?
P10	¿Fue práctico el manejo de dos pinzas laparoscópicas?
P11	¿Fue práctico el manejo del endoscopio?
P12	Fue fácil el manejo de las pinzas, el endoscopio y el mouse al mismo tiempo

Tabla 10: Preguntas de la encuesta.

Fuente: Elaboración propia.

Como primera medida en la gráfica de la figura 4.2, se realiza un análisis con todos los datos obtenidos y sin tener en cuenta ninguna característica en particular, con el fin de observar el impacto del proyecto.

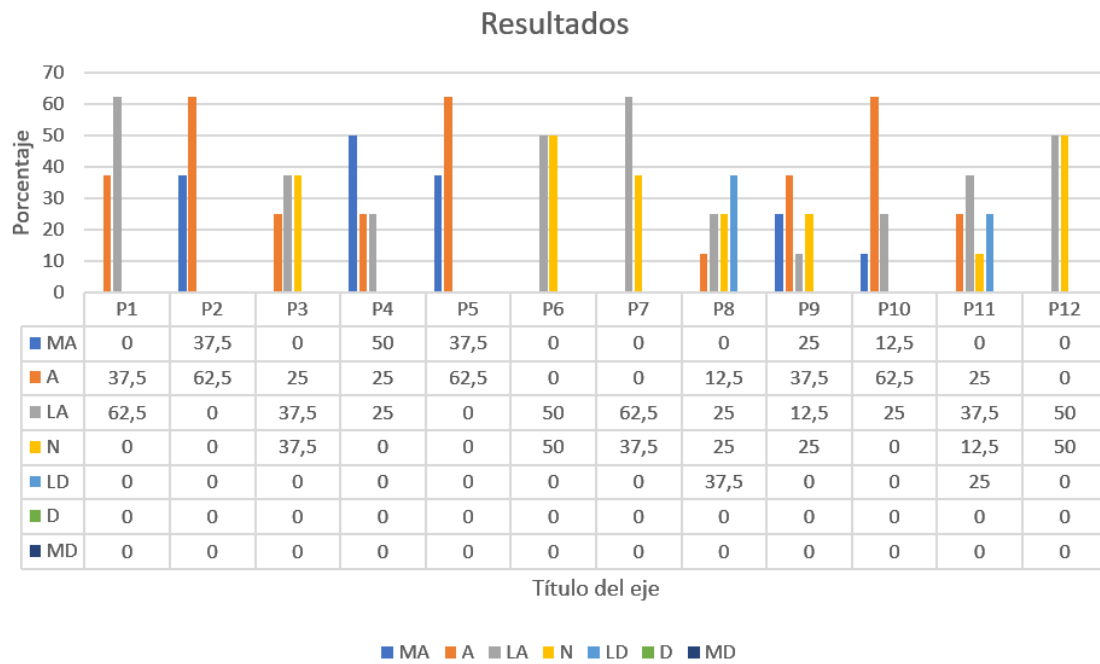


Figura 76: Resultados de la encuesta.  
Fuente: Elaboración propia.

Se puede observar en la figura 76 que más de un 88% de los datos cuentan con puntaje superior al grado neutral o identificado como calificación de 4 según la escala de likert que se estableció anteriormente. También se puede apreciar que los valores máximos varían con más frecuencia entre 6 y 7, y por lo menos una persona sostuvo buenos resultados .

#### 4.2.1. Pregunta 1: ¿Es cómodo y agradable el uso del simulador?

Analizando las respuestas obtenidas que se muestran en la figura 77, el prototipo de entrenador en laparoscopia fue de gran comodidad para los participantes, donde ellos manifestaron por medio de sus respuestas estar de acuerdo o ligeramente en acuerdo, y adicionalmente comentaron sentir conformidad con el uso de las pinzas reales en el entrenador de cirugía laparoscópica.

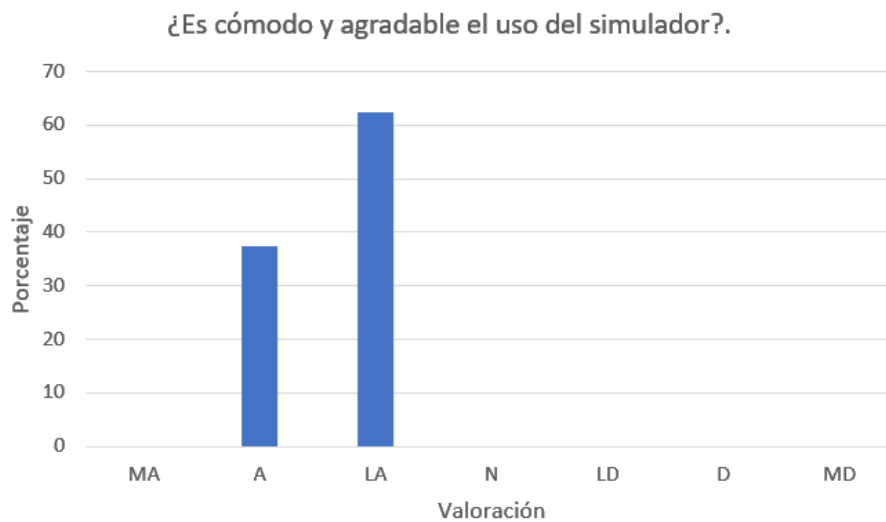


Figura 77: Pregunta 1.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.2. Pregunta 2: ¿La interfaz es clara, en cuanto a contenido, información y opciones?

Con el propósito de evidenciar la aceptación del sistema para su posterior mejora, se realizó una interfaz gráfica donde se pudiera encontrar fácilmente las opciones de configuración, con respecto al contenido e información ofrecida por el sistema. Las respuestas de los usuarios encuestados estuvieron entre de acuerdo y muy de acuerdo, lo cual se puede observar en la figura 78. Esto nos muestra la conformidad de los usuarios con respecto a la interfaz.



Figura 78: Pregunta 2.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.3. Pregunta 3: ¿El entrenador cuenta con movimientos semejantes a los que se hacen con la pinza real?

Para la usabilidad y la experiencia de usuario, es necesario establecer movimientos muy parecidos a la realidad, puesto que entre más nos acerquemos a este punto en particular, el entrenamiento mejorará la experiencia y con ello se generará buen entrenamiento.

Los usuarios estuvieron de acuerdo en un 25 % y los demás proporcionaron respuestas entre ligeramente de acuerdo o neutro. Lo que significa que para ellos se brindó una buena experiencia pero no la mejor.

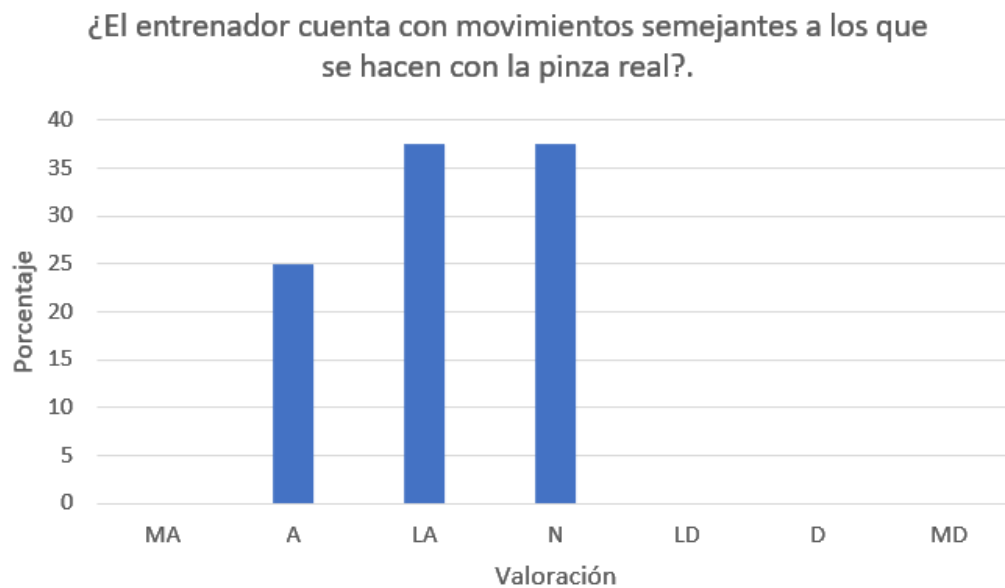


Figura 79: Pregunta 3.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4. Pregunta 4: ¿El sistema representa adecuadamente los ejercicios del programa FLS?

Para esta pregunta en particular, se tuvo en cuenta que antes del entrenamiento a los participantes se les proporcionó un conocimiento claro acerca del programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic surgery), en el cual se resolvían posibles dudas e inquietudes. Lo anterior se realizó debido a que no contábamos con información acerca de los conocimientos previos de los participantes.

En la figura 78, donde los usuarios evaluaban el sistema considerando si los ejercicios representaban adecuadamente el programa FLS, se puede observar que el sistema cuenta con aceptación, puesto que el 50 % de los usuarios proporcionaron respuestas de muy de acuerdo y la otra mitad entre ligeramente de acuerdo y de acuerdo.



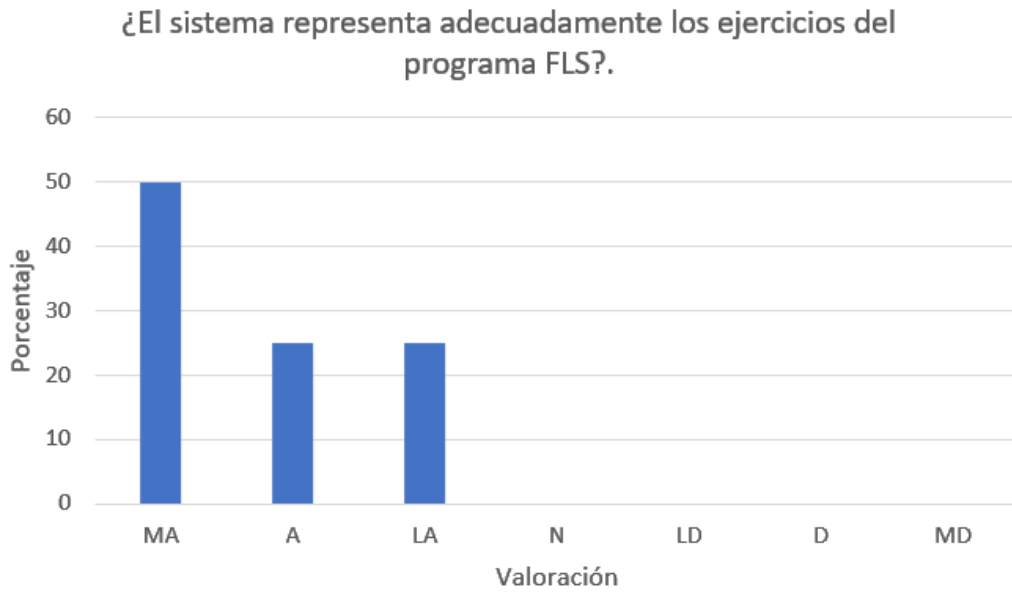


Figura 80: Pregunta 4.  
Fuente: Elaboración propia.

**4.2.5. Pregunta 5: ¿Las estadísticas presentadas le ayudan a mejorar las habilidades?**

En la figura 81 se puede apreciar la satisfacción de los participantes con respecto a las estadísticas a las que pueden acceder en el sistema, obtenido respuestas por parte de los usuarios que se encuentran en un 100 % entre de acuerdo y muy de acuerdo. Los usuarios manifestaban satisfacción dado la importancia de poder llevar un registro de la evolución.

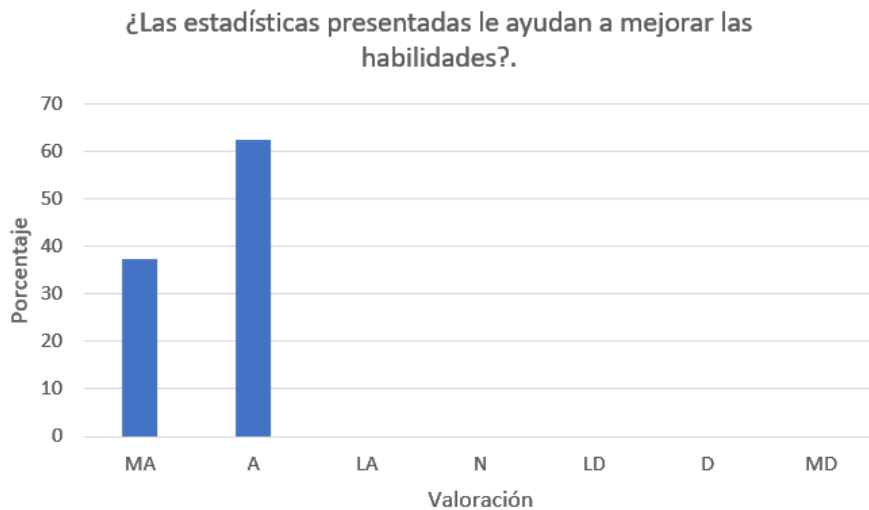


Figura 81: Pregunta 5.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.6. Pregunta 6: ¿Presenta este entrenador virtual ventajas sobre el entrenador físico?

Al realizar el análisis de resultados presentados en la figura 82, se encontró que el 50 % de los usuarios estuvieron ligeramente de acuerdo y el otro 50 % en neutral.

Los participantes manifestaban que ambos entrenadores tienen ventajas de lado y lado, inclinándose más por las ventajas ofrecidas por el entrenador virtual, dado que según los resultados el 100 % de las personas proporcionaron valores de neutral o mayores. Esto puede suceder puesto que los médicos pueden realizar otro tipo de ejercicios en el simulador virtual.



Figura 82: Pregunta 6.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.7. Pregunta 7: ¿Preferiría entrenar con este simulador, sobre el entrenador tradicional?

Esta pregunta surge con el fin de conocer la elección de los dos usuarios, respecto al simulador que acaban de emplear y el entrenador que se encuentra en la sala de simulación. Al analizar los resultados que se aprecian en la figura 83, más del 50 % de los participantes eligieron ligeramente de acuerdo, mientras los demás se encontraban en una posición neutral.

Para este ítem en específico, al final de cada encuesta se dejó un espacio abierto, donde el usuario pudiera expresarse con más libertad. La idea es poder realizar un análisis individual del punto de vista de cada uno, para finalmente tener conocimiento de que se le debería mejorar al entrenador y que aspectos adicionales se podrían tener en cuenta.

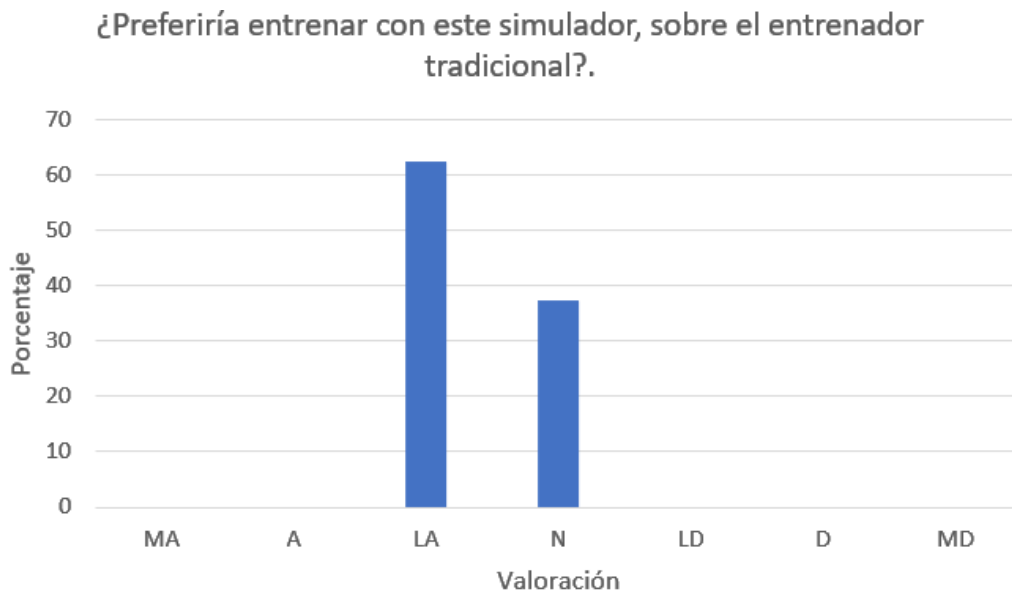


Figura 83: Pregunta 7.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.8. Pregunta 8: ¿El comportamiento del endoscopio virtual es similar al endoscopio real?

Observando la figura 84 se puede analizar que no fue de total agrado ni desagrado el comportamiento del endoscopio en el simulador, dando a entender que el endoscopio si se encontraba en funcionamiento, pero no realizaba los mismos movimientos que el endoscopio usado en una cirugía laparoscópica real.

La respuesta a esta pregunta se estuvo analizando antes de las pruebas, debido a que el endoscopio desarrollado en el entrenador SL-SIM v2 cuenta con 3 grados de libertad para realizar sus movimientos, situación que no sucede en la vida real, dado que se utilizan 6 grados de libertad lo que permitiría una mejor experiencia y exactitud.

Lo anterior nos ayuda a entender la importancia de implementar un endoscopio con movimientos lo más parecidos a la realidad. Cabe resaltar que el endoscopio desarrollado por el equipo de trabajo, cumple la función principal de cámara”, por medio de la cual el practicante puede desplazarse por los escenarios y hacer uso de esta función.

Por último, cabe concluir que el endoscopio no presenta la mejor calificación, pero esta no es dada por no cumplir su función, sino porque no se puede manejar de igual manera que un endoscopio real.

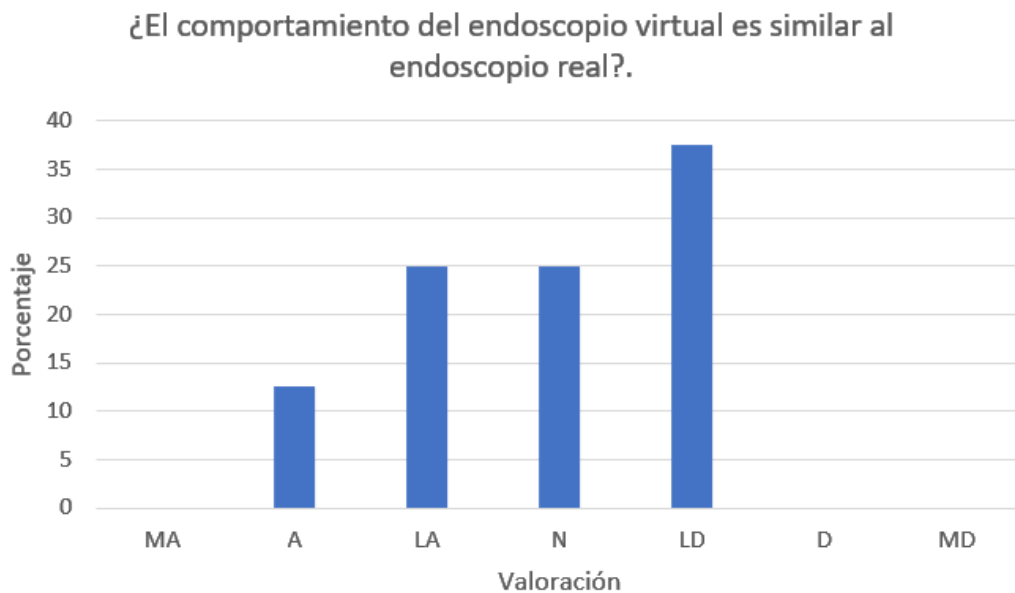


Figura 84: Pregunta 8.  
Fuente: Elaboración propia.

**4.2.9. Pregunta 9: ¿Cree usted que la implementación del endoscopio es la adecuada en los ejercicios propuestos?**

Como se puede observar en la figura 85 los promedios oscilan entre neutral, ligeramente de acuerdo, de acuerdo y muy de acuerdo, lo que nos muestra que los usuarios no estuvieron 100% conformes con el manejo que se le dio al endoscopio en los ejercicios. Esto pudo suceder puesto que la detección de movimiento es demasiado sensible.

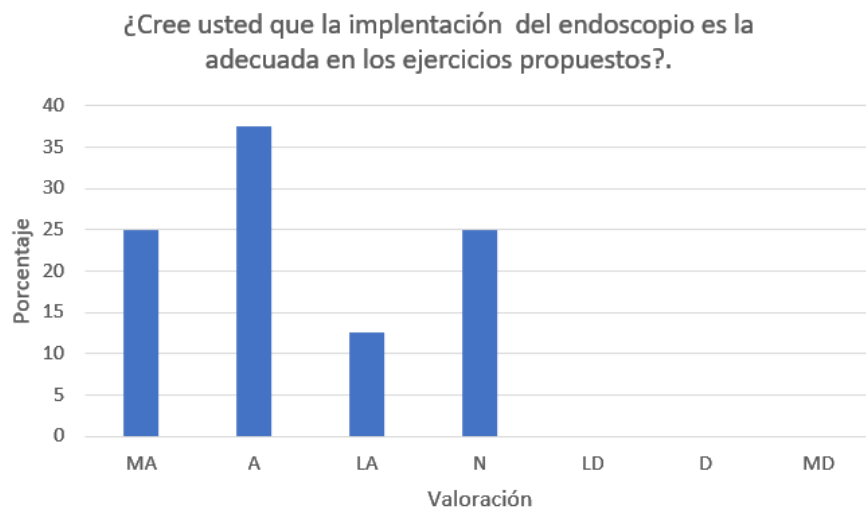


Figura 85: Pregunta 9.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.10. Pregunta 10: ¿Fue práctico el manejo de dos pinzas laparoscópicas?

Después de observar los resultados mostrados en la figura 86, se concluye que la implementación de la segunda pinza en el simulador fue adecuada, puesto que la gráfica nos brinda un nivel de satisfacción muy alto, razón de peso en este entrenador que permitió brindar una mejor experiencia y entrenamiento al usuario.

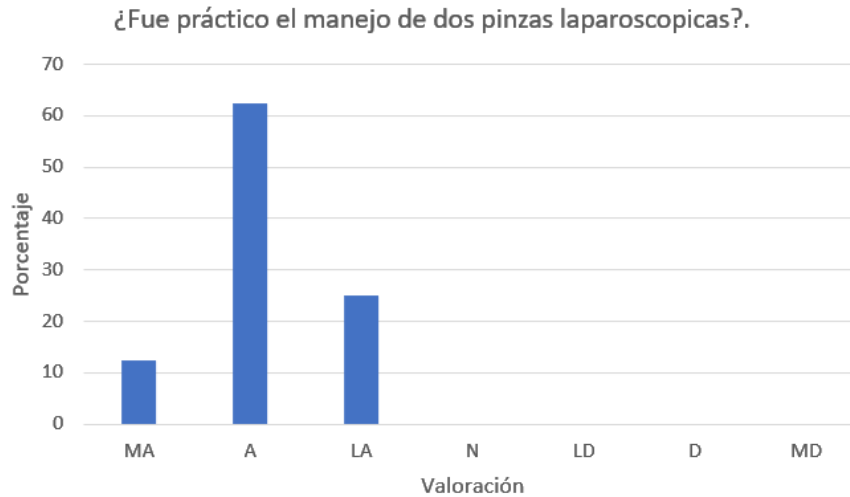


Figura 86: Pregunta 10.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.11. Pregunta 11: ¿Fue práctico el manejo del endoscopio?

Analizando los resultados de la pregunta 11 en la figura 87, se tiene en la gráfica como resultado un promedio entre neutral y ligeramente de acuerdo, dando a conocer que aunque la implementación funciona correctamente, no se obtiene el grado de satisfacción esperado por parte del usuario final aunque algunos manifestaron que poder desplazarse por el espacio brindó una mejor percepción de la profundidad.

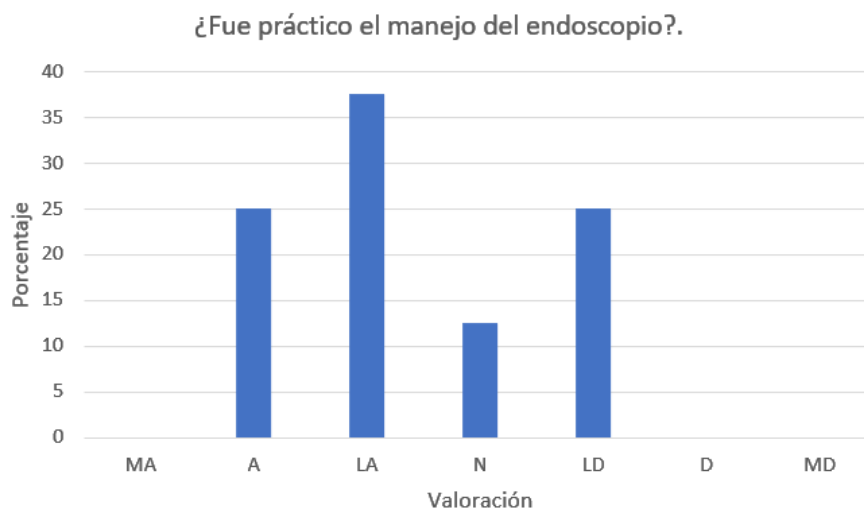


Figura 87: Pregunta 11.  
8

#### 4.2.12. Pregunta 12: ¿Fue fácil el manejo de las pinzas, el endoscopio y el mouse al mismo tiempo?

Analizando los resultados de la pregunta 12 en la figura 88, se tiene un 50 % de los participantes con respuestas en neutral y el otro 50 % en ligeramente de acuerdo. El usuario manifiesta dificultad al realizar esta acción, debido a que normalmente realizan este tipo de acción de una manera diferente. En un procedimiento quirúrgico real el cirujano maneja las dos pinzas laparoscópicas mientras que un asistente se encarga de manejar el endoscopio.

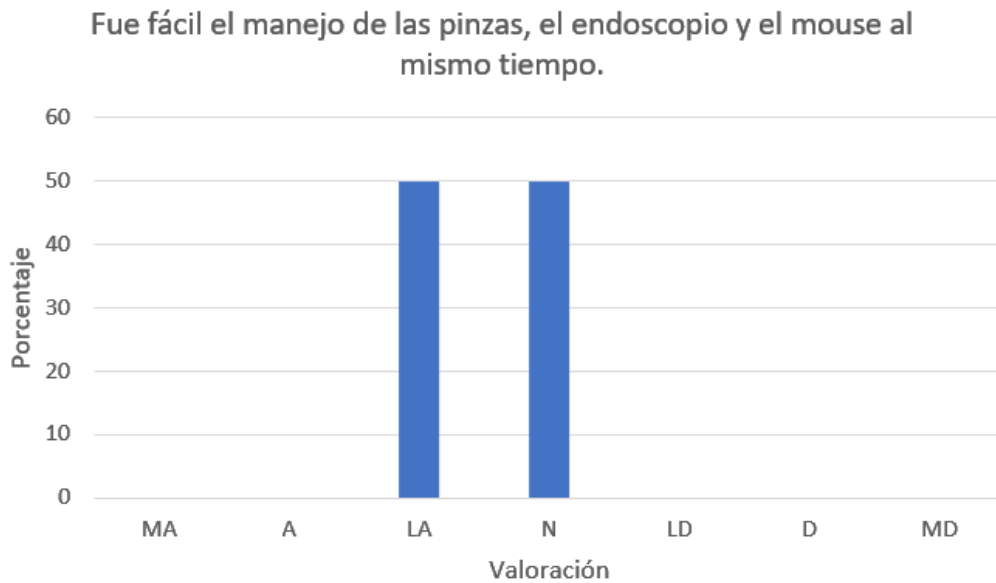


Figura 88: Pregunta 12.  
Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3. Análisis por experiencia en videojuegos

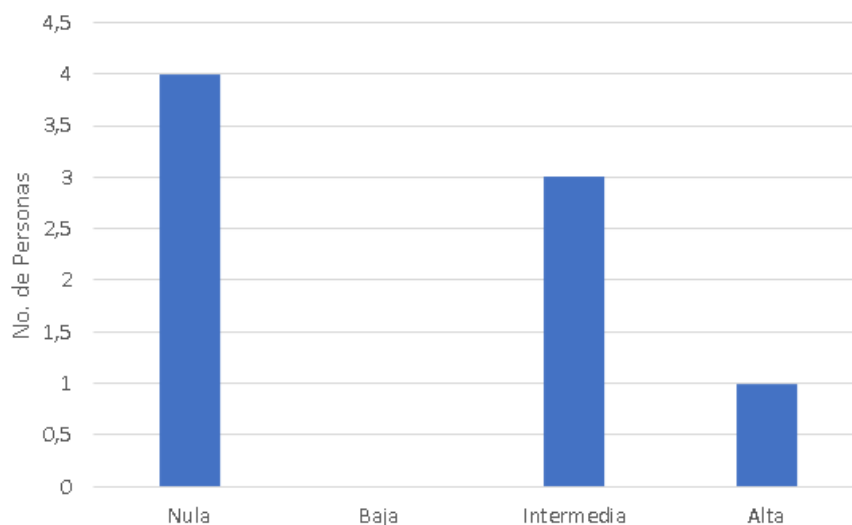


Figura 89: Experiencia en Videojuegos.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la figura 89 se realizó entre los diferentes residentes de cirugía en laparoscopia y a un cirujano ya formado, con el objetivo de identificar si influye de alguna manera la experiencia en el uso de videojuegos con el manejo del simulador . En esta ocasión se realizó un análisis con los resultados obtenidos al haber completado el primer subnivel del nivel 'Introduction' y también al final del primer subnivel del nivel Peg Transfer, todos estos datos generados respecto a la experiencia con videojuegos de cada participante. Los puntajes registrados de los participantes en el nivel 'Introduction', 'Peg Transfer' y su nivel de experiencia en videojuegos se presentan en la tabla 11 y 12 respectivamente.

INTRODUCTION				
#	AÑO RESIDENCIA	ELIMINADOS	TIEMPO	EXP. VIDEOJUEGOS
1	1	0	5	INTERMEDIA
		4	5	
2	1	2	5	INTERMEDIA
		3	5	
3	1	1	5	NULA
		2	5	
4	2	0	5	NULA
		0	5	
5	2	0	5	NULA
		0	5	
6	3	0	5	NULA
		1	5	
7	3	2	5	INTERMEDIA
		3	5	
8	CIRUJANO	X	X	ALTA

Tabla 11: Introduction con experiencia en videojuegos.  
Fuente: Elaboración propia.

PEG TRANSFER				
#	AÑO RESIDENCIA	ELIMINADOS	TIEMPO	EXP. VIDEOJUEGOS
1	1	4	4:50	INTERMEDIA
		3	4:50	
2	1	2	4:50	INTERMEDIA
		2	4:50	
3	1	0	4:50	NULA
		1	4:50	
4	2	1	4:50	NULA
		4	4:50	
5	2	2	4:50	NULA
		3	4:50	
6	3	4	4:50	NULA
		4	4:50	
7	3	1	4:50	INTERMEDIA
		4	4:50	
8	CIRUJANO	0	4:50	ALTA
		4	4:50	

Tabla 12: Análisis nivel Peg Transfer con Exp. en Videojuegos.  
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del análisis de la tabla 11 y la tabla 12, se obtiene que los participantes que cuentan con práctica en videojuegos se acoplaron mejor a los ejercicios, puesto que al realizar una comparación de los primeros resultados de la prueba, se ve en la tabla de resultados una diferencia drástica, favoreciendo al participante que cuenta con experiencia en videojuegos. Siguiendo con el análisis, se puede mencionar que en su segundo intento el usuario evoluciona, dado que los resultados de la mayoría de los participantes incrementan inmediatamente cuando tienen experiencia con videojuegos.

En el caso de los participantes que no cuentan con esta experiencia, se puede deducir que se les dificulta mucho la familiarización con los ejercicios, esto se puede observar en los resultados de las estadísticas, debido a que se presentan varios casos en donde a pesar de tener dos oportunidades para hacer el ejercicio y el tiempo suficiente para desarrollarlos según el programa de entrenamiento FLS, no realizan ningún acierto.

#### 4.4. Análisis por experiencia laparoscópica previa

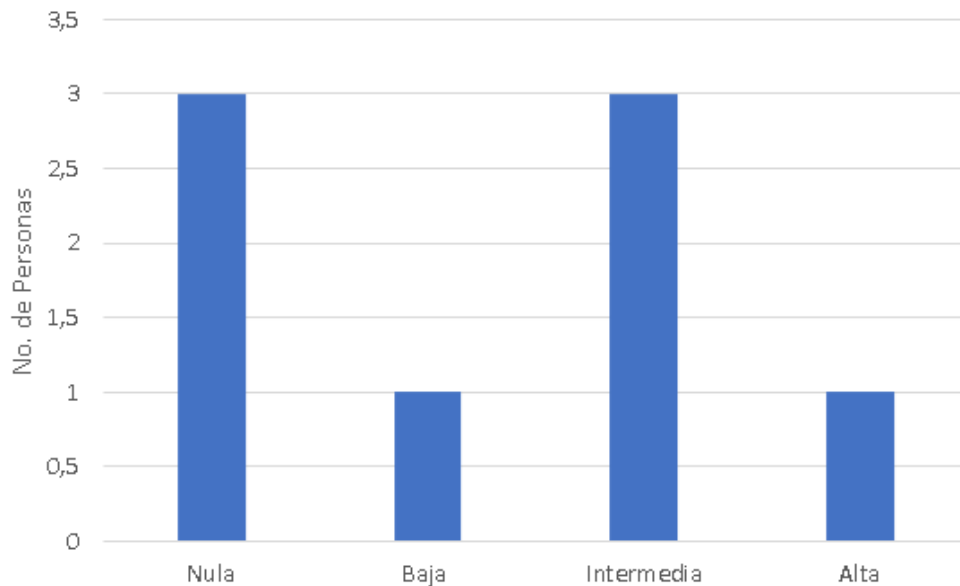


Figura 90: Experiencia en Laparoscopia.  
Fuente: Elaboración propia.

El análisis de la figura 90 se realizó entre los diferentes residentes de cirugía en laparoscopia y a un cirujano formado. Para esta ocasión se realizó un análisis con los resultados obtenidos al haber completado el primer subnivel del nivel 'Introduction' y también al final del primer subnivel del nivel 'Peg Transfer', todos estos datos se generaron respecto a la experiencia laparoscópica previa de cada participante.



INTRODUCTION				
#	AÑO RESIDENCIA	ELIMINADOS	TIEMPO	EXP. LAPAROSCÓPICA PREVIA
1	1	0 4	5 5	NULA
2	1	2 3	5 5	NULA
3	1	1 2	5 5	NULA
4	2	0 0	5 5	BAJA
5	2	0 0	5 5	MEDIA
6	3	0 1	5 5	MEDIA
7	3	2 3	5 5	MEDIA
8	CIRUJANO	X	X	ALTA

Tabla 13: Análisis nivel Introduction por Experiencia laparoscópica previa.  
Fuente: Elaboración propia.

PEG TRANSFER						
#	AÑO RESIDENCIA	SUBNIVEL 1 ELIMINADOS	SUBNIVEL 1 TIEMPO	SUBNIVEL 2 ELIMINADOS	SUBNIVEL 2 TIEMPO	EXP. LAPAROSCOPICA PREVIA
1	1	4 3	5 5	1	4:50	NULA
2	1	2 2	5 5	1	4:50	NULA
3	1	0 1	5 5	0	4:50	NULA
4	2	1 4	5 5	2	4:50	BAJA
5	2	2 3	5 5	2	4:50	MEDIA
6	3	4 4	5 5	3	4:50	MEDIA
7	3	1 4	5 5	3	4:50	MEDIA
8	CIRUJANO	4	5	3	4:50	ALTA

Tabla 14: Análisis nivel Peg Transfer por Experiencia Laparoscopica previa.  
Fuente: Elaboración propia.

Como resultado del análisis de las tablas 13 y 14, se obtuvo que para los participantes que cuentan con experiencia en cirugías laparoscópicas previas, no presentan ventajas considerables sobre los de menor experiencia en el primer subnivel del nivel 'Peg Transfer'. Caso contrario sucede en el segundo subnivel, dado a que la diferencia de efectividad es muy superior en participantes que cuentan con experiencia. Lo anterior se puede argumentar puesto que como el nivel de dificultad incrementa subnivel a subnivel, a un profesional con mas intervenciones médicas le resultaría más sencillo.

En nivel de 'Introduction' no se puede realizar un análisis lo bastante claro, debido a que no se encuentra relación directa entre si la persona ha tenido la posibilidad de realizar intervenciones laparoscópicas o no, y los resultados después de realizar la prueba.

## 4.5. Análisis por tiempo empleado

En las tablas 11 y 12 se puede observar que todos los participantes emplearon el tiempo máximo configurado en el sistema al momento de ejecutar los ejercicios, por lo cual se puede considerar que para lograr el objetivo del nivel y obtener unas estadísticas de tiempo de los participantes, primero deben acostumbrarse al manejo del prototipo, por tanto deben realizar mayor tiempo de entrenamiento. En este caso algunos usuarios tuvieron mejores resultados que otros, pero ninguno logró el objetivo del nivel en el tiempo establecido por el programa de entrenamiento.

## 4.6. Análisis por experiencia con simuladores

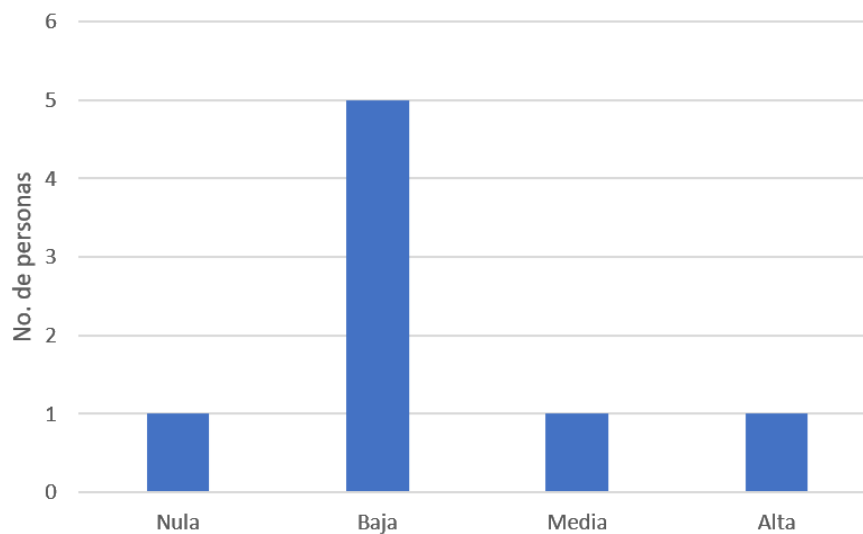


Figura 91: Experiencia en Simuladores.

Fuente: Elaboración propia.

En el análisis de la figura 91 se puede observar la diferencia que existe entre las personas que han tenido la posibilidad de utilizar un simulador con anterioridad, y las que no. Para este estudio en particular, después de haberse realizado la encuesta general se determina que la mayoría de las personas no han tenido la posibilidad de realizar una experiencia con simulador virtual, por este motivo no se realizó un análisis con este factor.

## 4.7. Análisis por nivel de desarrollo profesional médico

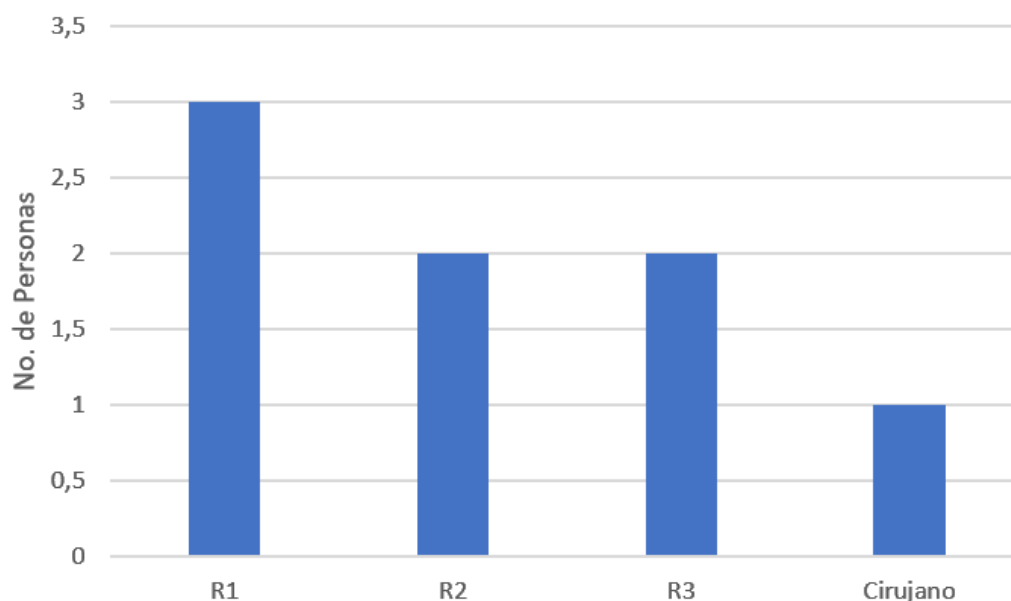


Figura 92: Experiencia por Nivel de desarrollo profesional médico.  
Fuente: Elaboración propia.

Para éste análisis, no es necesario colocar tablas, puesto que las tablas anteriores tienen presente el nivel de estudio en el que se encuentran los profesionales.

Considerando las estadísticas dispuestas en las tablas anteriores y lo observado en la figura 92, se puede concluir que a mayor grado de estudio se pueden obtener mejores resultados, y esto es causado por la experiencia que se acumula a lo largo de todos sus estudios adquiridos y cirugías realizadas.

## 4.8. Análisis Nivel 'Following Trajectories'

Las trayectorias en este nivel representan la precisión quirúrgica en movimientos que deben ser delicados, este tipo de ejercicios permitirán mejorar la precisión del usuario puesto que le obliga a realizar desplazamientos de diferentes maneras en todas las tres dimensiones.

Para realizar el análisis de este nivel surgieron algunas complicaciones, entre las cuales se encuentran el tiempo limitado por parte de los residentes para realizar las pruebas, puesto que el simulador cuenta con un amplio compendio de ejercicios que no se ejecutaron en su totalidad.

Por otra parte, la dificultad del nivel "Following Trajectories" es la más alta debido a que los movimientos de las pinzas deben ser bastantes precisos para no cometer errores, lo que no permitió que los evaluados culminaran con los ejercicios pertenecientes al nivel.

Los únicos resultados que se pudieron obtener, los presentamos a continuación:

Una residente de tercer año(R3) logró realizar una trayectoria del primer subnivel de 'Following trajectories', lo mismo sucedió cuando el cirujano intentó ejecutar el nivel, mientras que los demás residentes no pudieron realizar la trayectoria o el tiempo no fue suficiente para llegar a efectuarla.

#### 4.9. Análisis por número de aciertos

A continuación se presenta por medio de un gráfico de barras la evolución del participante al realizar dos repeticiones de los niveles 'Introduction' y 'Peg Transfer' en su primer subnivel. Esto se muestra en las figuras 93 y 94 respectivamente.

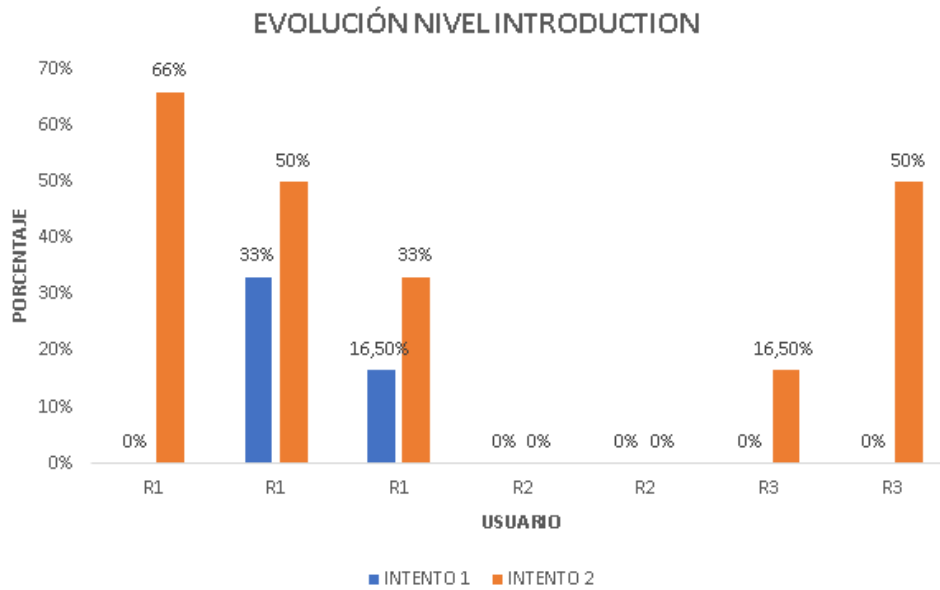


Figura 93: Evolución nivel Introduction.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 93 se puede observar que los estudiantes evolucionan favorablemente en una segunda repetición, esto puede suceder debido a que en un segundo intento el usuario se acopla mejor a los movimientos del programa.

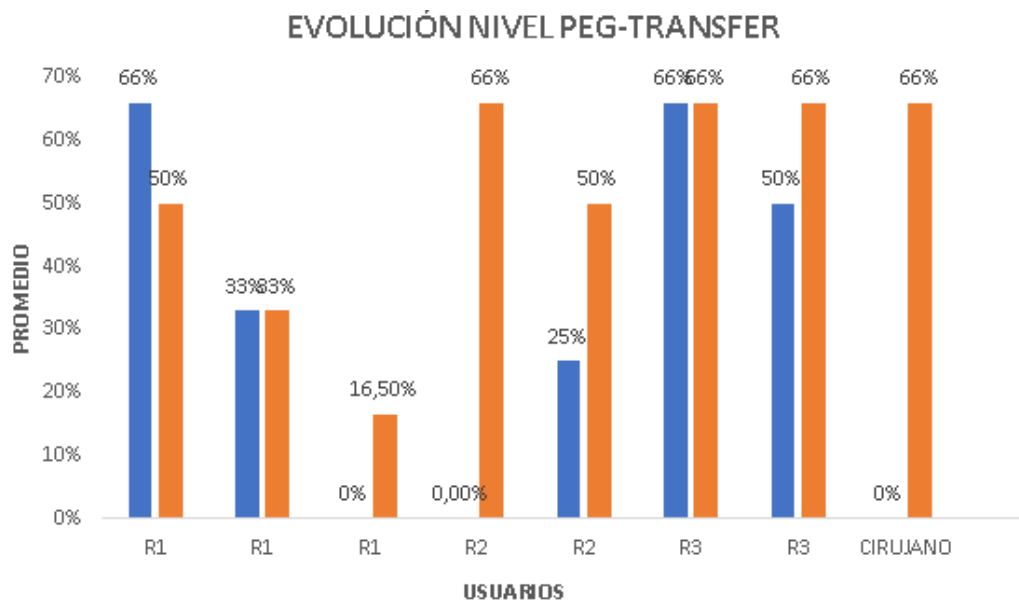


Figura 94: Evolución nivel Peg transfer.  
Fuente: Elaboración propia

En la figura 94 se puede observar que 5 de los participantes mejoran su rendimientos, 2 lo mantienen y uno lo disminuye, pero este último a pesar del resultado obtiene buenos puntajes con respecto a los demás. Los residentes de segundo año o superior obtienen los máximos puntajes en su segundo intento a comparación de los demás, esto puede suceder porque tienen mayor entrenamiento en cirugía por lo cual se acoplan mejor a los ejercicios.

## Capítulo 5

### Conclusiones y trabajos futuros

La curva de aprendizaje requerida para obtener habilidades necesarias que permitan a un cirujano realizar un procedimiento quirúrgico, es extensa. El uso de simuladores virtuales que implementan ejercicios basados en un programa de entrenamiento es cada vez más común y traen consigo diversos beneficios para los usuarios, por esta razón se buscó diseñar un simulador de bajo costo que brinde la misma utilidad que los simuladores comerciales.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, el objetivo de este trabajo fue desarrollar un simulador para entrenamiento de cirugía laparoscópica basado en una primera versión, el cual cuenta con diferentes dispositivos que permiten detectar las funciones que deben ser realizadas por las pinzas laparoscópicas, como la apertura, cierre y rotación de la pinza. Adicionalmente se implementó un sistema óptico de detección el cual por medio de las cámaras realiza el rastreo de color de las dos pinzas laparoscópicas, por tanto, fueron implementadas en el entorno de trabajo Unity 3D trayendo consigo beneficios para el entrenamiento, puesto que permiten que el cirujano perfeccione habilidades quirúrgicas con las dos manos.

Los ejercicios del entrenamiento son desarrollados en un entorno virtual llamado Unity 3D. Para la construcción de los ejercicios se tuvo en cuenta que estos cumplirían con los estándares establecidos por el programa de entrenamiento FLS, el cual es fundamental para el mejoramiento de las habilidades en el menor tiempo posible. Adicionalmente se buscó que el usuario adquiriera habilidades al poner en funcionamiento el endoscopio, por lo cual esta funcionalidad se encuentra presente en cada uno de los niveles.

El sistema fue probado en el laboratorio de simulación de la Facultad de Ciencias de la Salud de la Universidad del Cauca, donde participaron 8 usuarios que difieren en experiencia en cirugía laparoscópica, entre ellos se encuentran los residentes del programa de cirugía y un especialista. Para evaluar el desempeño del usuario se realizó una encuesta donde dieran a conocer su experiencia en cirugía laparoscópica y así determinar la capacidad del sistema, adicionalmente se tuvieron en cuenta los puntajes registrados de cada usuario. Se observó que en los primeros niveles desarrollados no se presentó gran diferencia en cuanto el desempeño de los participantes, pero a medida que incrementa la dificultad de los ejercicios, los estudiantes con mayor experiencia estuvieron en la capacidad de realizarlos, lo que no sucedió con los usuarios con menos experiencia, como era de esperarse. De igual manera, el uso de la interfaz fue agradable para los participantes, y les pareció un avance importante el hecho de implementar las dos pinzas en el entrenamiento.

Por otra parte, el movimiento de las pinzas contó con un porcentaje de sensibilidad bastante alto, lo que permite al estudiante ganar precisión en los movimientos.

La aceptación del prototipo por parte de los usuarios fue favorable, puesto que la mayoría mencionaba como el prototipo representaba los ejercicios que deben realizar normalmente en un entrenamiento previo a llevar a la práctica una cirugía real, lo que permite generar trabajos futuros con el fin de mejorar el prototipo y vincularlos en el proceso de enseñanza quirúrgica.

En el presente trabajo se logró:

- Se mejoró el prototipo sl-sim v1 para la ejecución virtual de los ejercicios establecidos en el programa de entrenamiento FLS.
- Se planteó un rastreo de posición cartesiana  $x,y,z$  de dos pinzas junto al endoscopio.
- Se mejoraron las funciones de rotación, cierre y apertura en tiempo real.
- Se evaluó la percepción de los estudiantes de especialización en cirugía en la ejecución de los ejercicios del programa de entrenamiento FLS.

## Trabajos Futuros

Con la finalización del proyecto se abren nuevos temas de investigación e implementación en el prototipo.

- Desarrollar un nivel avanzado donde se realicen algunos tipos de cirugía laparoscópica.
- Evaluar el incremento de habilidades en un periodo de 3 meses de uso.
- La investigación e implementación de un sistema que permita sensación háptica en el prototipo.



## Referencias

- [1] L. V. Franco, “¿ qué es la medicina?:¿ una ciencia?¿ un arte?¿ o un oficio?” *Revista Mexicana de Pediatría*, vol. 78, no. 3, pp. 99–101, 2011.
- [2] K. C. Diaz and S. Kanashiro, “Estudio comparativo de ventajas y desventajas de la apendicectomía a cielo abierto versus apendicectomía laparoscópica,” Ph.D. dissertation, Tesis. Lima: Universidad Ricardo Palma, 2011.
- [3] D. R. R. Tovar and S. A. Salinas, “Simuladores virtuales para entrenamiento de habilidades para laparoscopia,” *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 10, no. 19, 2016.
- [4] J. García Murillo, M. Arias Correa, and É. Valencia Díaz, “Diseño de prototipo de simulador para entrenamiento en cirugía laparoscópica,” *Revista Ingeniería Biomédica*, vol. 5, no. 9, pp. 13–19, 2011.
- [5] Medici, “Cirugía laparoscópica,” *Disponible en: <http://unidad-gastroenterologia.com/laparoscopia.html>*.
- [6] R. TORRES, E. SERRA, and M. C. MARECOS, “Generalidades de la cirugía laparoscópica equipamiento e instrumental,” *Galindo F. Enciclopedia de cirugía digestiva*, vol. 116, pp. 1–17, 2009.
- [7] M. Vassiliou, G. Ghitulescu, L. Feldman, D. Stanbridge, K. Leffondre, H. Sigman, and G. Fried, “The mistels program to measure technical skill in laparoscopic surgery,” *Surgical Endoscopy And Other Interventional Techniques*, vol. 20, no. 5, pp. 744–747, 2006.
- [8] S. Buzink, M. Soltis, J. Radonak, A. Fingerhut, G. Hanna, and J. Jakimowicz, “Laparoscopic surgical skills programme: preliminary evaluation of grade i level 1 courses by trainees,” *Videosurgery and other Miniinvasive Techniques*, vol. 7, no. 3, p. 188, 2012.
- [9] G. Sroka, L. S. Feldman, M. C. Vassiliou, P. A. Kaneva, R. Fayez, and G. M. Fried, “Fundamentals of laparoscopic surgery simulator training to proficiency improves laparoscopic performance in the operating room—a randomized controlled trial,” *The American journal of surgery*, vol. 199, no. 1, pp. 115–120, 2010.
- [10] E. E. Sosa-Durán, Z. Aboharp-Hasan, X. Jiménez-Villanueva, A. Bazán-Soto, F. Jiménez-Gómez, and M. Villegas-Ortiz, “Papel de la simulación en la educación quirúrgica de mínimo acceso,” *Revista del Hospital Juárez de México*, vol. 81, no. 4, pp. 245–249, 2014.
- [11] M. Bertacchi, “Entrenamiento en cirugía laparoscópica urológica,” Ph.D. dissertation, Thesis. Catedra Urológica, 2016.
- [12] J. M. Justo-Janeiro, E. P. Orozco, and L. G. V. de Lara, “Comparación entre un simulador físico y uno laparoscópico para el desarrollo de destrezas en cirugía laparoscópica,” *Revista Mexicana de Cirugía Endoscópica*, vol. 8, no. 3, pp. 114–121, 2007.
- [13] J. Usón-Gargallo, E. M. Pérez-Merino, J. M. Usón-Casaús, J. Sánchez-Fernández, and F. M. Sánchez-Margallo, “Modelo de formación piramidal para la enseñanza de cirugía laparoscópica,” *Cirugía y Cirujanos*, vol. 81, no. 5, pp. 420–430, 2013.

- [14] V. Beltrán Guáqueta, D. L. Hernández Perilla *et al.*, “Impacto en el entrenamiento con simuladores de laparoscopia dentro del programa de cirugía general-universidad del rosario,” Ph.D. dissertation, Universidad del Rosario, 2013.
- [15] E. M. McDougall, F. A. Corica, J. R. Boker, L. G. Sala, G. Stoliar, J. F. Borin, F. T. Chu, and R. V. Clayman, “Construct validity testing of a laparoscopic surgical simulator,” *Journal of the American College of Surgeons*, vol. 202, no. 5, pp. 779–787, 2006.
- [16] Strattner., “Simulador lapmentor,” [*En línea*], Disponible en: <http://www.strattner.com.br/produtos/medico-hospitalar/educacional-treinamento-simuladores-cirurgicos-lap-mentor-3.asp>.
- [17] D. T. Woodrum, P. B. Andreatta, R. K. Yellamanchilli, L. Feryus, P. G. Gauger, and R. M. Minter, “Construct validity of the lapsim laparoscopic surgical simulator,” *The American Journal of Surgery*, vol. 191, no. 1, pp. 28–32, 2006.
- [18] Somnotec, “Simulador lapsim,” [*En línea*], Disponible en: <http://www.somnotec.net/portfolio-items/lapsim-proven-training-system/>.
- [19] J. B. Pagador, L. Sánchez, J. Sánchez, P. Bustos, J. Moreno, and F. M. Sánchez-Margallo, “Augmented reality haptic (arh): an approach of electromagnetic tracking in minimally invasive surgery,” *International journal of computer assisted radiology and surgery*, vol. 6, no. 2, pp. 257–263, 2011.
- [20] N. Iwata, M. Fujiwara, Y. Koderu, C. Tanaka, N. Ohashi, G. Nakayama, M. Koike, and A. Nakao, “Construct validity of the lapvr virtual-reality surgical simulator,” *Surgical endoscopy*, vol. 25, no. 2, pp. 423–428, 2011.
- [21] CAE, “Simulador lapvr,” [*En línea*], Disponible en: <https://www.medicalexpo.com/prod/cae-healthcare/product-79760-621555.html>.
- [22] F. Neis, S. Brucker, M. Henes, F. A. Taran, S. Hoffmann, M. Wallwiener, B. Schönfisch, N. Ziegler, A. Larbig, and R. L. De Wilde, “Evaluation of the hystsim<sup>TM</sup>-virtual reality trainer: an essential additional tool to train hysteroscopic skills outside the operation theater,” *Surgical endoscopy*, vol. 30, no. 11, pp. 4954–4961, 2016.
- [23] D. SYSTEMS, “Simulador hystsim,” [*En línea*], Disponible en: <https://symbionix.com/simulators/hyst-mentor/hyst-mentor-platforms/>.
- [24] A. García-Ruiz, V. Inda-Vargas, Z. Botello-Hernández, M. Muñoz-Chavelas, and M. Valdez-Durón, “Simulador quirúrgico laparoscópico basado en dispositivo electrónico (tableta): “triangulap” una nueva herramienta educativa para cirugía laparoscópica,” *Revista de Sanidad Militar*, vol. 71, no. 3, pp. 276–281, 2017.
- [25] J. M. Justo-Janeiro, E. P. Orozco, and L. G. V. de Lara, “Comparación entre un simulador físico y uno laparoscópico para el desarrollo de destrezas en cirugía laparoscópica,” *Revista Mexicana de Cirugía Endoscópica*, vol. 8, no. 3, pp. 114–121, 2007.
- [26] S. E. Sanz, F. M. S. Margallo, I. D.-G. Martín-Portugués, and J. U. Gargallo, “Validación preliminar del simulador físico simulap<sup>®</sup> y de su sistema de evaluación para cirugía laparoscópica,” *Cirugía Española*, vol. 90, no. 1, pp. 38–44, 2012.

- [27] O. A. V. Alban and D. E. G. Villamarín, “Herramienta software para la práctica de la robótica quirúrgica,” *Ingeniería y Universidad*, vol. 19, no. 1, pp. 7–25, 2015.
- [28] H. Vargas-Rosero and O. Vivas-Albán, “Manipulación de robot quirúrgico mediante interfaz natural,” *Revista mexicana de ingeniería biomédica*, vol. 37, no. 3, pp. 287–298, 2016.
- [29] C. E. Fernández-Riomalo, H. A. Guástar-Morillo, and O. A. Vivas-Albán, “Diseño y modelado del robot pa-10 virtual para aplicaciones quirúrgicas,” *Revista Facultad de Ingeniería*, vol. 25, no. 42, pp. 21–32, 2016.
- [30] F. Galindez and U. Manuel, “Prototipo entrenador de cirugía laparoscópica,” *Tesis. Popayán: Universidad del Cauca*, 2017.
- [31] MedicalEXPO, “Pinza laparoscópica,” [*En línea*], Disponible en: <https://www.medicalexpo.es/prod/purple-surgical/product-78500-481992.html>.
- [32] “Importancia del hardware,” [*En línea*], ”Diapponible en: <https://www.importancia.org/hardware.php>”.
- [33] Ciset, “Hardware (hw),” [*En línea*], ”Disponible en: <https://www.ciset.es/glosario/451-hardware>”.
- [34] MedicalEXPO, “Pinza laparoscÓpica /de agarre /de un solo uso.”
- [35] MedlinePlus, “Endoscopio,” [*En línea*], Disponible en: ”<https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/002360.htm>”.
- [36] sisbib, “Cirugia laparoscópica,” [*En línea*], ”Disponible en: <https://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtual/libros/medicina/cirugia/tomo,i/Cap,07,cirug>”.
- [37] Genius., “Facecam 1000x,” [*En línea*], Disponible en: <http://es.geniusnet.com/product/facecam-1000x>.
- [38] NODEVICE, “Facecam 2000,” [*En línea*], Disponible en: <https://www.nodevice.es/drivers/web-cam-webcam/genius/facecam-2000>.
- [39] HETPRO, “Mpu6050 arduino, acelerómetro y giroscopio,” [*En línea*], <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/modulo-acelerometro-y-giroscopio-mpu6050-i2c-twi/>.
- [40] eeKFactory, “Mpu6050 acelerómetro y giroscopio,” [*En línea*], ”Disponible en: <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mpu6050-acelerometro-y-giroscopio-6-ejes/>”.
- [41] 5Hertz, “Abc del acelerometro,” [*En línea*], <https://www.5hertz.com/index.php?route=tutoriales/tutorial,id=2>.
- [42] ingmecafenix, “Acelerómetro sensor de movimiento o vibración,” [*En línea*], Disponible en: <https://www.ingmecafenix.com/automatizacion/acelerometro/>.
- [43] ECURED, “Giroscopio,” [*En línea*], ”Disponible en: <https://www.ecured.cu/Giroscopio>”.
- [44] COMOFUNCIONA, “Cómo funciona un giroscopio,” [*En línea*], Disponible en: <https://como-funciona.co/un-giroscopio/>.

- [45] INFOTEC.NET, “Sensor de campos magnéticos, sensor hall.” [*En línea*], Disponible en: <https://www.infootec.net/sensor-campos-magneticos-sensor-hall/>.
- [46] ECURED, “Sensor hall,” ” Disponible en: <https://www.ecured.cu/Sensor>”.
- [47] ARDUINO, “Arduino mega 2560 rev3,” [*En línea*], ” Disponible en: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>”.
- [48] L. Llamas, “El bus i2c en arduino,” [*En línea*], Disponible en: <https://www.luisllamas.es/arduino-i2c>.
- [49] R. G. Figueroa, C. J. Solís, and A. A. Cabrera, “Metodologías tradicionales vs. metodologías ágiles,” *Universidad Técnica Particular de Loja, Escuela de Ciencias de la Computación*, 2008.
- [50] K. Schwaber and J. Sutherland, “La guía de scrum: La guía definitiva de scrum, las reglas del juego,” *Recuperado de <http://www.scrumguides.org/docs/scrumguide/v1/Scrum-Guide-ES.pdf>*, 2016.
- [51] J. D. Hurtado-Chaves, A. A. Nástar-Guacales, and O. A. Vivas-Albán, “Sistema de captura de gestos con kinect para la manipulación de robots quirúrgicos virtuales,” *ITECKNE: Innovación e Investigación en Ingeniería*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24, 2015.
- [52] J. E. López-Flores, “Control por gestos usando leap motion,” 2016.
- [53] V. Arévalo, J. González, and G. Ambrosio, “La librería de visión artificial opencv. aplicación a la docencia e investigación,” *Base Informática*, vol. 40, pp. 61–66, 2004.
- [54] UnityForum, “Color tracker,” [*En línea*], ” Disponible en: <https://forum.unity.com/threads/color-tracker-v1-0.427581/>”.

# Anexos

## Anexo A. Metodología Scrum

Scrum es un framework o metodología que permite administrar y controlar desarrollo software de una manera ágil, además scrum permite adaptar los problemas que surgen con el tiempo en un proyecto , esta metodología tiene en cuenta algunos componentes para su empleo, entre ellos están: equipos, roles , eventos artefactos y reglas [50].

Un equipo scrum está conformado por roles como product Owner, equipo de desarrollo y un scrum master.

- Product Owner:

Es el miembro encargado de recibir información a cerca del proyecto final, es el responsable de maximizar el valor del producto y optimizar el valor del trabajo que realice el equipo de desarrollo, es quien administra el Product Backlog.

- Equipo de desarrollo:

Está conformado por profesionales del desarrollo, se encargan de efectuar el desarrollo con el fin de agregar un 'Done' al final de cada sprint. Todos los integrantes del equipo deben ser interdisciplinarios, puesto que deben colaborar y estar en la capacidad de cumplir cualquier tarea que haga parte del sprint, por este motivo no se pueden realizar subequipos dentro de este proyecto, el equipo estar en la capacidad de completar el trabajo.

- Tamaño del equipo de desarrollo

El tamaño del equipo debe ser óptimo, lo que quiere decir que debe ser suficientemente pequeño para permanecer ágil y lo suficientemente grande para realizar el trabajo perteneciente a un sprint. Contar con más de nueve miembros requiere demasiada coordinación, generan demasiada complejidad en un proceso empírico.

- Scrum Master:

Es el miembro del equipo encargado de coordinar y hacer cumplir la teoría, prácticas y normas de la metodología Scrum con el objetivo de realizar cada sprint correctamente. El Scrum master es un servidor-lider ayuda a solucionar problemas presentados durante el desarrollo del proyecto logrando de esta manera incrementar la eficiencia y minimizar el tiempo.

La metodología scrum está conformada por algunos eventos que permiten reducir al mínimo la necesidad de realizar reuniones no definidas en el Scrum, entre ellos se encuentran el sprint, sprint planning, diaryli y scrum.

- Sprint:

El corazón de scrum es un Sprint y es utilizado para lograr un sub-objetivos del proyecto. Cada Sprint tiene una definición de lo que debe ser construido, un diseño y un plan flexible que permitirá edificar el trabajo y producto final.

Un sprint no debe durar más de un mes, de ser así puede incrementar la complejidad y el riesgo durante la ejecución del proyecto. Adicionalmente, define que no se debe realizar cambios en el proyecto que puedan poner en riesgo el objetivo que se encuentra definido en el Sprint.

- Sprint Planning

Durante este evento se efectúa la planificación de Sprint, la cual es realizada por todo el equipo scrum. La planificación no puede extender el máximo de 8 horas para realizar un sprint de un mes, además el scrum master es el responsable de mantener el plazo en que se debe realizar el sprint.

- Daily Scrum

El fin de este evento es realizar una reunión de 15 minutos con el equipo scrum al finalizar el día, para organizar las actividades que se efectuarán la jornada siguiente. La idea de efectuar este tipo de reuniones es evidenciar el progreso en cada sprint, con ello aumenta la probabilidad de cumplir el sprint propuesto.

- Sprint review El objetivo de este evento es realizar una reunión cada que se concluye un sprint con el fin de analizar el progreso obtenido, además de ello se busca conocer los problemas surgidos durante el sprint y si se debe retroalimentar. Todo esto resulta beneficioso puesto que el equipo de desarrollo podrá presentar el trabajo terminado, y efectuar los cambios que los interesados o el producto owner manifiesten.

Scrum está compuesto por algunos artefactos que permiten la inspección y adaptación, entre ellos se encuentra el Product Backlog y el Sprint Backlog.

- Product Backlog:

El product Backlog es una lista con todo lo que podría llegar a ser necesario para el producto, en el se enumeran todas las características, funciones, requisitos, mejoras y correcciones que hacen parte de los cambios que se pueden realizar en versiones futuras. El producto Backlog evoluciona a medida que el producto y el entorno en que se utiliza evoluciona.

- Sprint Backlog Es un conjunto de sub-requisitos que se toman del product backlog para cada sprint. Este Sprint backlog es elaborado en un sprint planning buscando prever lo que se podrá completar y mostrar al cliente cuando finalice el sprint, logrando de esta manera incrementar el desarrollo del producto para ser entregado.

## **Anexo B. Explicación de los niveles**

### **Explicación nivel introduction**

El primer subnivel cuenta con una esfera la cual deberá ser enfocada por la cámara en un ángulo de 0 grados. En este subnivel se observa la aparición de una esfera la cual aparecerá en un posición al azar, en el momento en que se enfoque la esfera esta desaparecerá y aparecerá una nueva. Los parámetros objetivo fueron definidos por el grupo de desarrollo puesto que el programa FLS no establece parámetros para este nivel.

El segundo nivel cuenta con una esfera la cual deberá ser enfocada por la cámara en un ángulo de 30 grados. En este subnivel se observa la aparición de una esfera la cual aparecerá en una posición al azar, en el momento en que se enfoque la esfera desaparecerá y aparecerá una nueva. Los parámetros objetivo fueron definidos por el grupo de desarrollo, puesto que el programa FLS no establece parámetros para este nivel.

### **Explicación nivel peg transfer**

El primer subnivel cuenta con un anillo el cual deberá ser insertado en un recipiente específico que contiene en su centro un cilindro. En este subnivel se observa la aparición de un anillo, en el momento en que se inserte el anillo en el recipiente aparecerá un nuevo anillo en una misma posición. Los parámetros objetivo del nivel son definidos por el programa FLS, el cual establece que se deben insertar 6 ros en un tiempo de 4 minutos con 50 segundos, lo que indica que cada anillo debe ser insertado en un tiempo aproximado de 46 segundos.

El segundo subnivel cuenta con un anillo el cual deberá ser insertado en un recipiente específico que contiene en su centro un cilindro. En este subnivel se observa la aparición de un anillo y un recipiente en posiciones al azar, cuando el anillo sea insertado en el recipiente desaparecen los dos objetos, pero inmediatamente aparecen en sus nuevas posiciones. Los parámetros objetivo son definidos por el programa de entrenamiento FLS, el cual establece que se deben insertar 6 aros en un tiempo de 4 minutos con 50 segundos, lo que indica que cada anillo debe ser insertado en un tiempo aproximado de 46 segundos.

El tercer subnivel cuenta con un anillo el cual deberá ser insertado en dos recipientes específicos. En este subnivel el usuario encontrará un anillo de color al azar, el cual aparecerá siempre en la misma posición, y este deberá ser insertado en los dos recipientes del color correspondiente. El usuario tendrá un tiempo de 46 segundos para realizar la tarea, de no ser así el anillo desaparecerá e inmediatamente se observará uno nuevo. Adicionalmente, si el anillo cae al suelo durante el proceso, este desaparecerá y el usuario tendrá que esperar el tiempo restante a los 46 segundos para que aparezca uno nuevo en el espacio determinado. La complejidad del nivel ha incrementado.

El cuarto subnivel cuenta con un anillo el cual deberá ser insertado en un recipiente específico. En este subnivel el usuario encontrará la aparición de un anillo puesto en un recipiente con el fin de que aparezca en una ubicación determinada para facilitar al

usuario la realización del ejercicio. En esta ocasión el usuario deberá pasar el anillo por una trayectoria antes de ser insertado en el recipiente, de no realizarlo así, el sistema no lo contará como un objetivo insertado.

## Explicación nivel following trajectories

El primer subnivel cuenta con una aguja con la cual el usuario deberá seguir las trayectorias lineales que se han implementado en el programa. Este subnivel cuenta con cuatro trayectorias lineales que incrementan su dificultad (ya que pasan de trabajar en dos dimensiones a tres) cada que se finalice una de ellas. El tiempo total para que el usuario realice el ejercicio no está definido, solo se evalúa el tiempo de realización de la trayectoria número 4.

A continuación en la figura 95 se muestran algunas de las trayectorias:

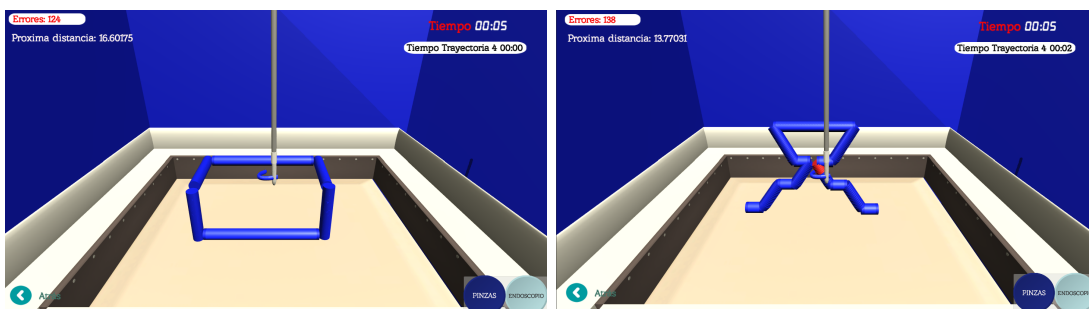


Figura 95: Trayectorias subnivel 1

El segundo subnivel cuenta con una aguja con la cual el usuario deberá seguir las trayectorias curvas que se han implementado en el programa. Este subnivel cuenta con cuatro trayectorias curvas que incrementan su dificultad cada que se finalice una de ellas. Estas trayectorias son más complejas debido a que se requieren movimientos por parte de las pinzas que no son rectos, por lo cual debe incrementar la precisión que debe tener el usuario.

A continuación en la figura 96 se muestran algunas de las trayectorias:

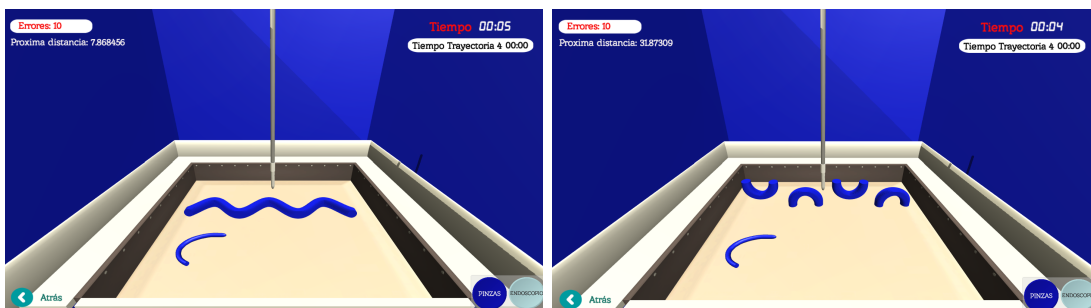


Figura 96: Trayectorias subnivel 2

Fuente: Elaboración propia.



En el tercer subnivel cuenta con una aguja con la cual el usuario deberá seguir las trayectorias con forma espiral que se han implementado en el programa. Este subnivel cuenta con cuatro trayectorias que incrementan su dificultad cada que se finalice una de ellas. Estas trayectorias se realizaron con el fin de que el usuario se familiarice con este tipo de movimientos antes de llegar al último nivel.

A continuación en la figura 97 se muestran algunas de las trayectorias:



Figura 97: Trayectorias subnivel 3  
Fuente: Elaboración propia.

El cuarto subnivel cuenta con una aguja con la cual el usuario deberá seguir las trayectorias helicoidales que se han implementado en el programa. Este subnivel cuenta con cuatro trayectorias que incrementan su dificultad cada que se finalice una de ellas. Las trayectorias se realizaron con el fin de familiarizar al usuario con los movimientos a ejecutar en una sutura antes de llegar a la trayectoria final.

Adicionalmente, se buscó que al final se pudiera hacer la trayectoria lo más parecida a la realizada en una sutura, en la cual el tiempo máximo para realizar este ejercicio en el programa de entrenamiento FLS es de 60 segundos, pero teniendo en cuenta que el manejo del sistema es complejo y se requiere de tiempo y entrenamiento para llegar al objetivo, se decidió establecer un tiempo evaluativo de 5 minutos.

A continuación en la figura 98 se muestran algunas de las trayectorias:

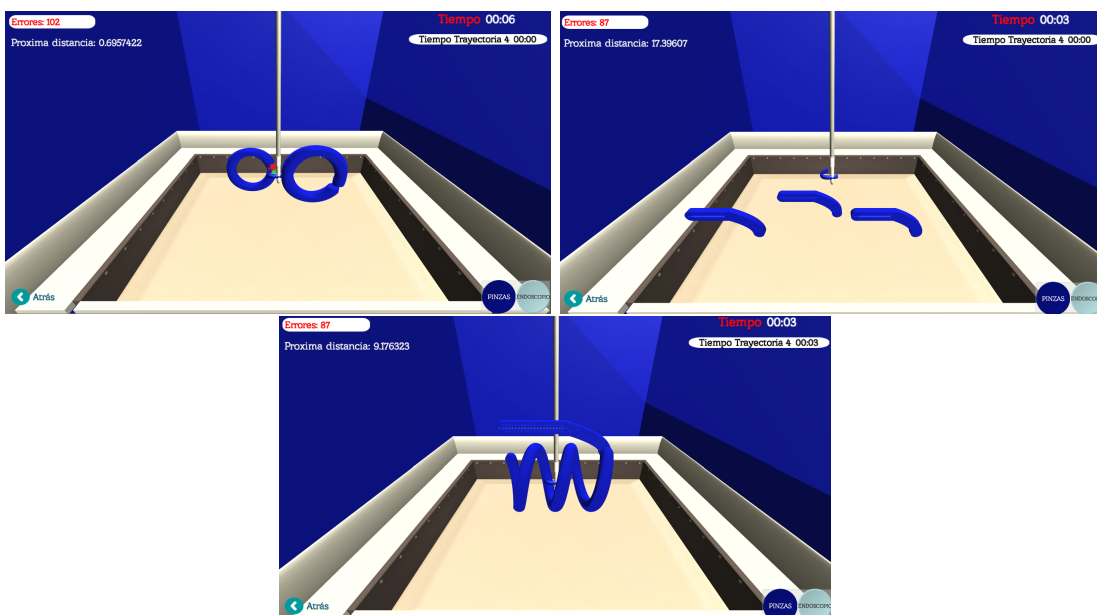


Figura 98: Trayectorias subnivel 4.  
Fuente: Elaboración propia.

## Anexo C. Detección y rastreo de posición

La detección de las pinzas se realizó por medio de dos cámaras las cuales están encargadas de localizar el color perteneciente a cada una. Todo lo mencionado se puede realizar gracias a un paquete desarrollado para unity llamado 'Color tracker', el cual permite llevar a cabo la detección de uno o varios colores. Para este proyecto se realizaron las configuraciones necesarias a los scripts del paquete de Unity para poder realizar la detección en tres dimensiones, por lo cual se ubican de manera estratégica las dos cámaras en el entorno virtual, a las cuales se les modifica el parámetro 'Projection' como orthographic para que tome la forma de la pantalla a visualizar y el parámetro 'size' para el tamaño.

Seguidamente se realiza la obtención de la posición de los colores configurados para la detección, lo cual se realiza por medio de un objeto el cual mediante un script realiza el seguimiento del rastreador de color, de esta manera se obtienen los valores de posición en los ejes X,Y en una cámara, puesto que para saber el valor de posición del eje Z se utiliza otro rastreador en la otra cámara y este es seguido por otro objeto, de esta manera ya se tienen las tres coordenadas.

Teniendo en cuenta lo mencionado en el párrafo anterior, se indica que para cada pinza habrán dos objetos seguidores para un total de cuatro cubos moviéndose por el espacio diseñado para las cámaras.

Los objetos seguidores pueden observarse en la figura 99.

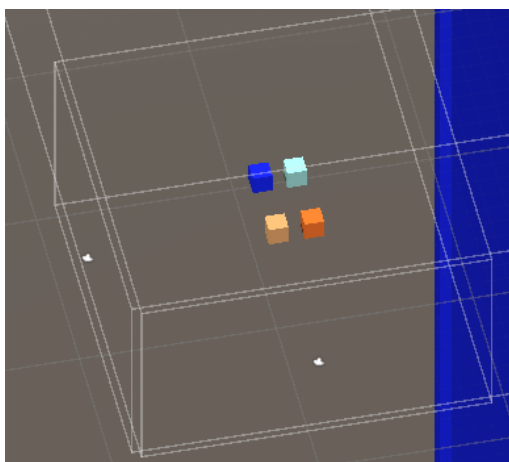


Figura 99: Área de las cámaras virtuales.  
Fuente: Elaboración propia.

A continuación se realiza la escala del espacio para el movimiento de la pinza, puesto que la zona de las cámaras es mucho más pequeña que el espacio en que se debe trabajar, además el área de las cámaras no debe ser visto por el usuario, por lo cual la escena de trabajo esta alejada de dicho sitio. Esto podrá observarse en la figura 100

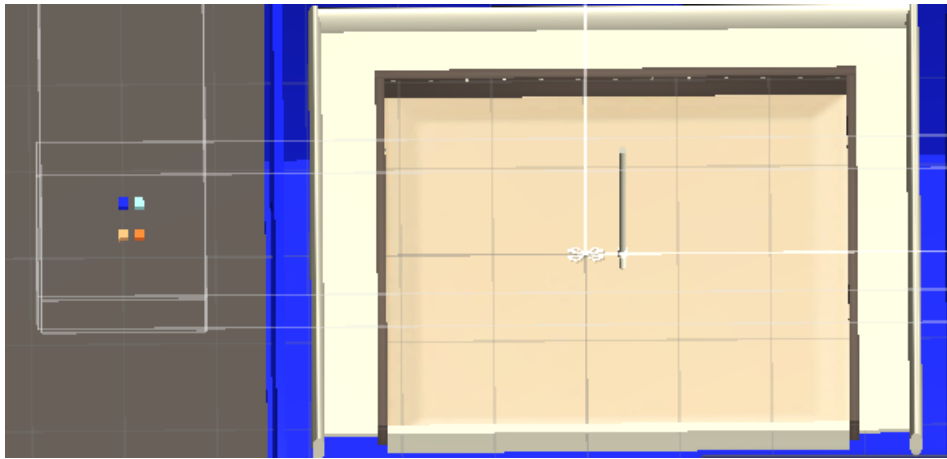


Figura 100: Escala de espacio  
Fuente: Elaboración propia.

Con la escala de espacio definida, se asignan las coordenadas X,Y y Z escaladas a un objeto invisible que se moverá por el entorno de trabajo, esta esfera será seguida por la pinza. Ver figura 101

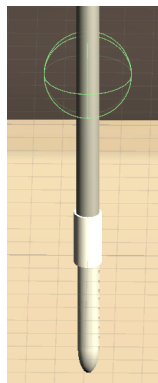


Figura 101: Objeto a seguir por pinza.  
Fuente: Elaboración propia.

Cada pinza tiene su objeto al cual debe seguir.

Los colores establecidos para ser seguidos son verde y rosado, el motivo fue que al hacer las pruebas para localizarlos fueron los colores que mejor fueron detectados.

## Anexo D. UML



Figura 102: Casos de Uso.  
Fuente: [30]

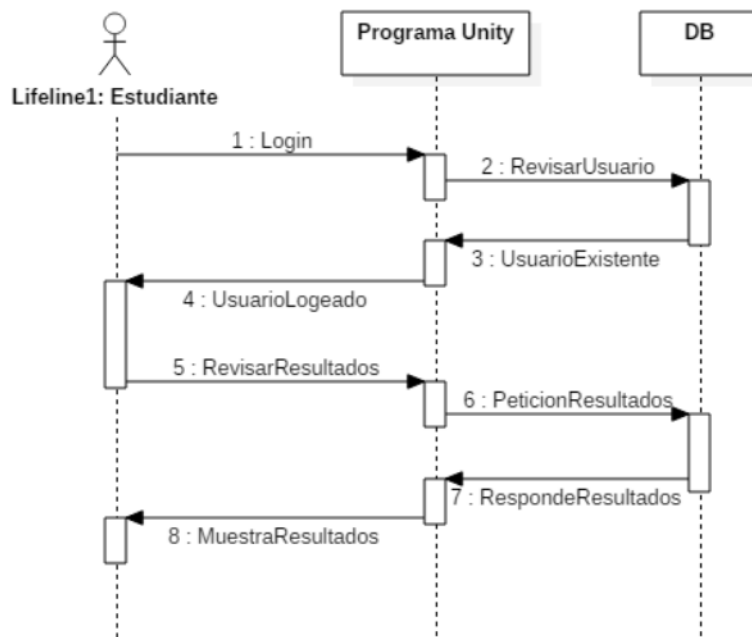


Figura 103: Diagrama de Secuencia-Resultados Estudiantes.  
Fuente: [30]

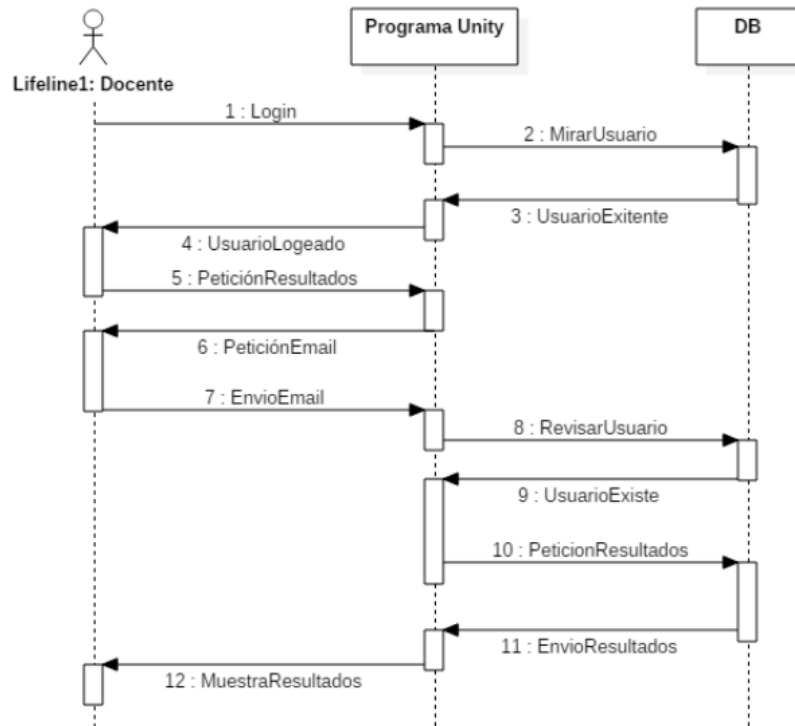


Figura 104: Diagrama de Secuencia-Resultados Docentes.  
Fuente: [30]

## Anexo E. Protocolo y Encuesta evaluativa

### Protocolo

- Diapositivas

Con la finalidad de realizar una explicación más interactiva y detallada al usuario final, se presentaron unas diapositivas las cuales se muestran en las siguientes figuras :

1.) Presentación: En esta primera parte, se le explica a los participantes, los datos generales del desarrollo.



Figura 105: Diapositiva-Presentación.  
Fuente: Elaboración propia.

2.) Programa de entrenamiento FLS: En esta parte, se hace una explicación de cada uno de los niveles del programa FLS.

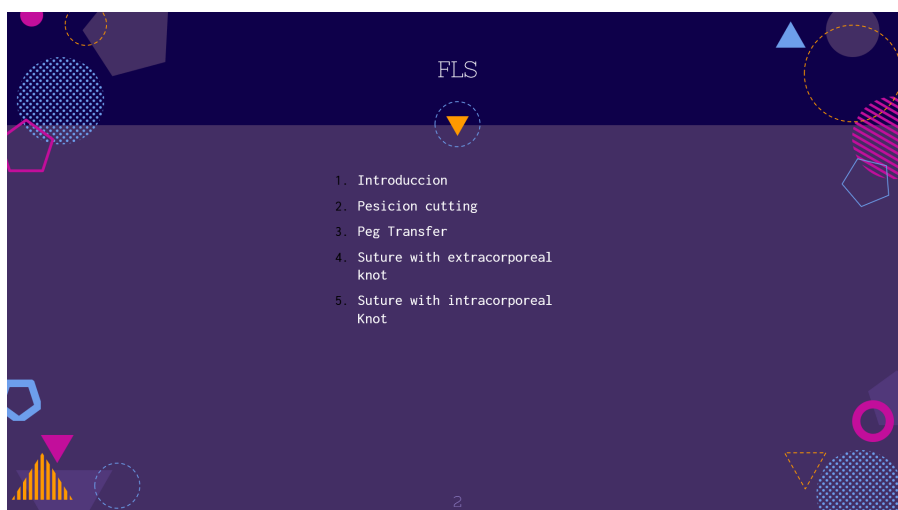


Figura 106: Diapositiva-Presentación.  
Fuente: Elaboración propia.

3.) Tutorial: Aquí se explica el primer nivel que se encuentra el usuario después de realizar su registro.



Figura 107: Diapositiva-Tutorial.  
Fuente: Elaboración propia.

A partir de esta diapositiva se explican los ejercicios que se realizaron teniendo en cuenta el programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery).

4.) Nivel Introduction:



Figura 108: Diapositiva-Introduction.  
Fuente: Elaboración propia.

5.) Nivel Peg Transfer:

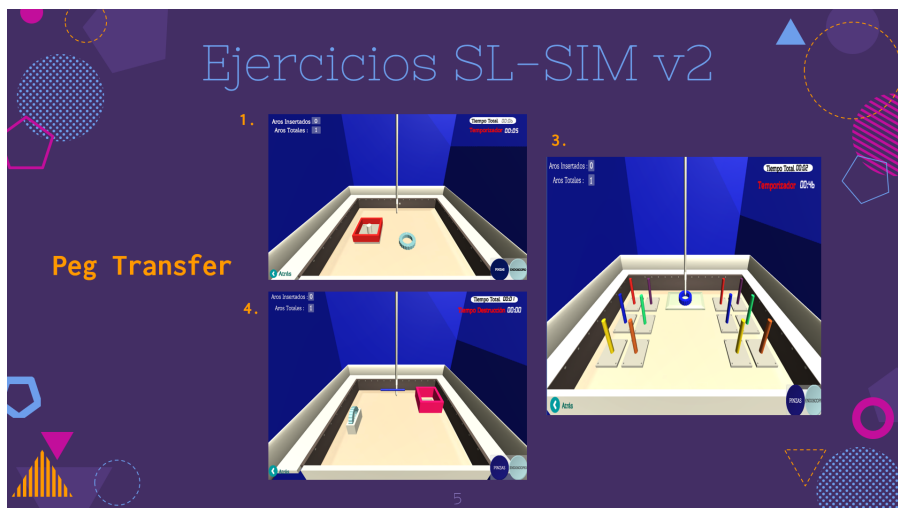


Figura 109: Diapositiva-Peg Transfer.  
Fuente: Elaboración propia.

6.) Nivel Trajectories:

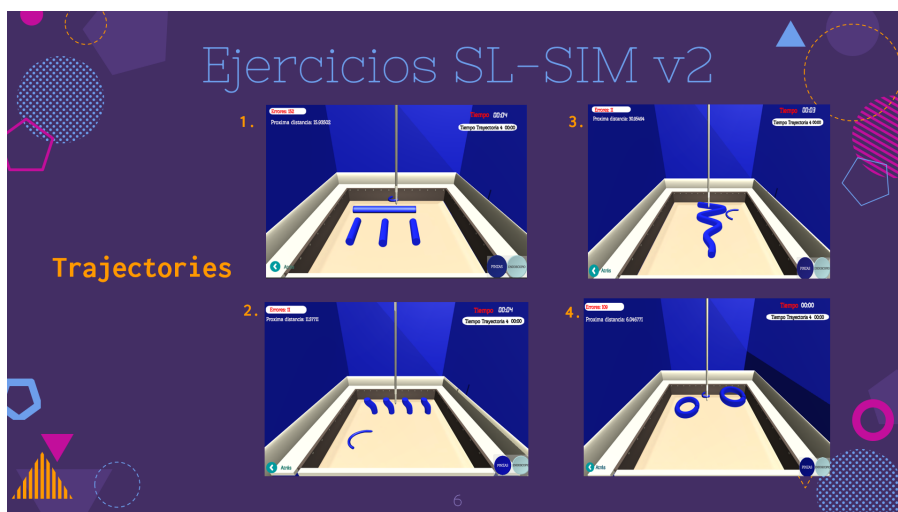


Figura 110: Diapositiva-nivel Trajectories.  
Fuente: Elaboración propia.



7.) Controles: En esta sección se explica como el usuario puede diferenciar la pinza derecha de la izquierda, también como el puede cambiar las pinzas por el endoscopio y viceversa, cuando lo requiera, mediante el mouse.

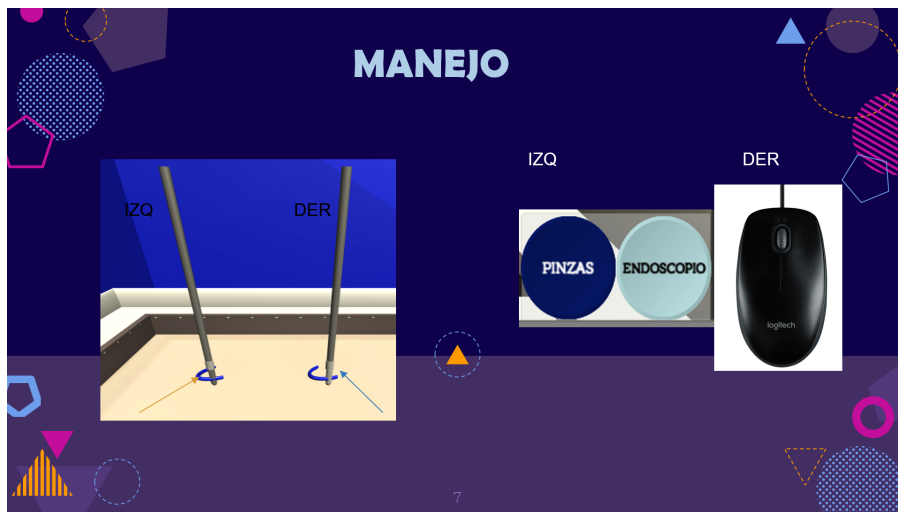


Figura 111: Diapositiva-Controles.  
Fuente: Elaboración propia.

8.) Estadísticas: Se le explica al usuario donde puede encontrar las estadísticas para observar el progreso del entrenamiento.



Figura 112: Diapositiva-Estadísticas.  
Fuente: Elaboración propia.

9.) **Conexión;** Al usuario se le enseña las conexiones del prototipo al computador, a la pantalla de visualización y a la corriente alterna, con el fin de no causar daños en el prototipo y el buen funcionamiento de todo.



Figura 113: Diapositiva-Conexión.  
Fuente: Elaboración propia.

10.) **Advertencias:** Se explican las advertencias del programa para obtener un mejor funcionamiento.

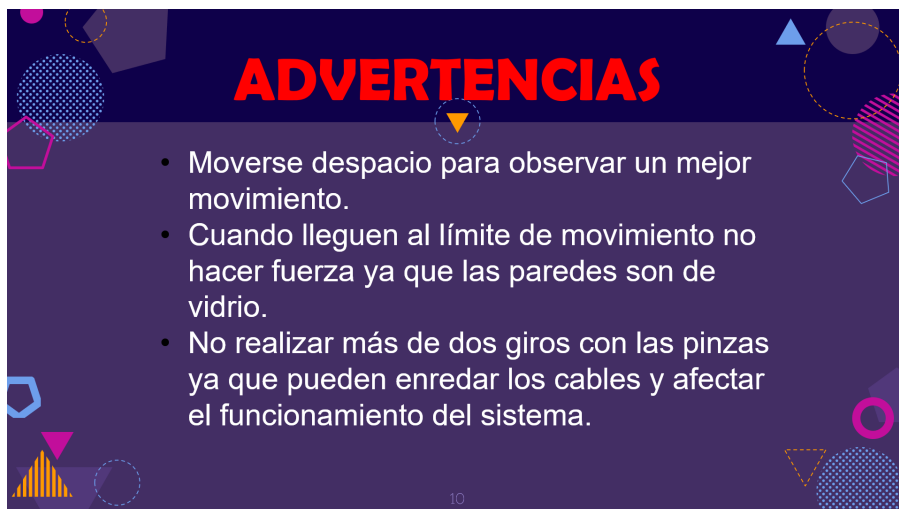


Figura 114: Diapositiva-Advertencias.  
Fuente: Elaboración propia.

## ■ Encuestas

1.)

**Universidad del Cauca**  
**Facultad de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**  
**Programa de Ingeniería en Electrónica y Telecomunicaciones**

Proyecto: Propuesta de entrenador quirúrgico híbrido (físico-virtual) para mejoramiento de habilidades en cirugía laparoscópica basado en el programa de entrenamiento FLS (Fundamentals of Laparoscopic Surgery)

Cuestionario para la evaluación de experiencia de usuario en la utilización del entrenador quirúrgico.

Datos generales

Fecha: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

Edad: \_\_\_\_\_

Sexo: \_\_\_\_\_

1. Nivel de desarrollo profesional medico
  - A. Estudiante de medicina.
  - B. Residente de medicina (Indicar año R \_\_)
  - C. Cirujano formado
  - D. Otro (Indicar): \_\_\_\_\_
  
2. Experiencia laparoscópica previa.
  - A. Nula
  - B. Baja: he sido ayudante pero no he realizado ninguna intervención
  - C. Media: Entre 1 y 50 intervenciones realizadas.
  - D. Alta: más de 50 intervenciones laparoscópicas.
  
3. Experiencia con video juegos.
  - A. Nula, nunca me han gustado los videojuegos
  - B. Baja: en alguna ocasión he jugado
  - C. Intermedia: tengo video consola y juego en algunas ocasiones
  - D. Alta: Suelo jugar constantemente.
  
4. Experiencia con simuladores
  - A. Nula
  - B. Baja: lo he usado alguna vez
  - C. Media: Mas de 5 veces
  - D. Alta: Mas de 10 veces

Figura 115: Encueta Datos Personales.  
Fuente: Elaboración propia.

2.)

A	PREGUNTAS	Muy de acuerdo	De acuerdo	Ligeramente De acuerdo	Neutral	Ligeramente en desacuerdo	En desacuerdo	Muy en desacuerdo
1	¿Es cómodo y agradable el uso del simulador?							
2	¿La interfaz es clara, en cuanto a contenido, información y opciones?							
3	El entrenador cuenta con movimientos semejantes a los que se hacen con la pinza real.							
4	El sistema representa adecuadamente los ejercicios del programa FLS.							
5	¿Las estadísticas presentadas le ayudan a mejorar las habilidades?							
6	¿Presenta este entrenador virtual ventajas sobre el entrenador físico?							
7	¿Preferiría entrenar con este simulador, sobre el entrenador tradicional?							
8	¿El comportamiento del endoscopio virtual es similar al endoscopio real?							
9	¿Cree usted que la implementación del endoscopio es la adecuada los ejercicios propuestos?							
10	¿Fue práctico el manejo de dos pinzas laparoscópicas?							
11	¿Fue práctico fue el manejo del endoscopio?							
12	Fue fácil el manejo de las pinzas, el endoscopio y el mouse al mismo tiempo.							

Figura 116: Encuesta SL-SIM v2.

Fuente: Elaboración propia.

- Respuestas participantes.

	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12
<b>Participante 1(R1)</b>	5	6	4	6	6	4	5	3	4	6	3	5
<b>Participante 2(R1)</b>	5	6	6	7	7	5	5	6	7	6	5	5
<b>Participante 3(R1)</b>	6	6	5	7	6	5	5	5	6	6	5	4
<b>Participante 4(R2)</b>	6	6	5	6	6	4	4	3	5	6	6	4
<b>Participante 5(R2)</b>	6	7	5	7	7	4	4	3	6	5	5	5
<b>Participante 6(R3)</b>	5	7	4	5	6	5	4	4	7	6	3	5
<b>Participante 7(R3)</b>	5	7	6	7	7	4	5	5	6	7	6	4
<b>Participante 8(C)</b>	5	6	4	5	6	5	5	4	4	5	4	4

Figura 117: Respuestas totales participantes.

Fuente: Elaboración propia.

## Anexo F. Menús

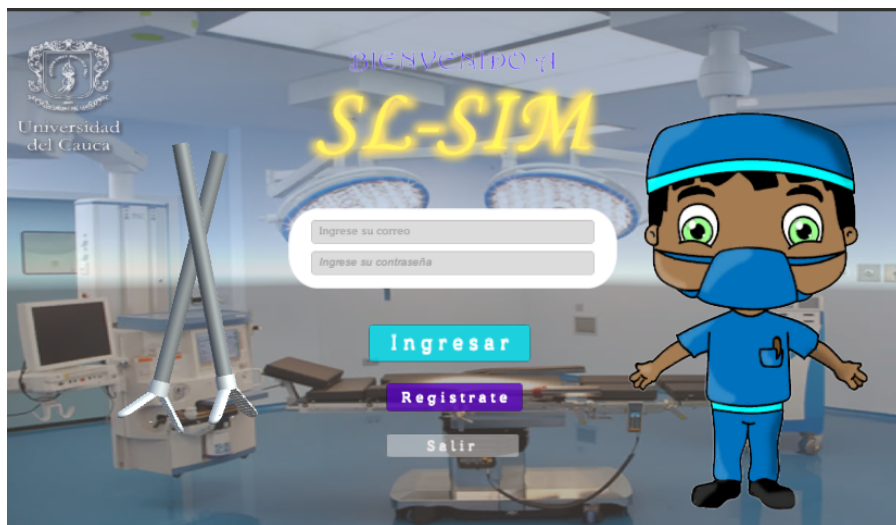


Figura 118: Menú inicio.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 119: Menú introduction.  
Fuente: Elaboración propia.

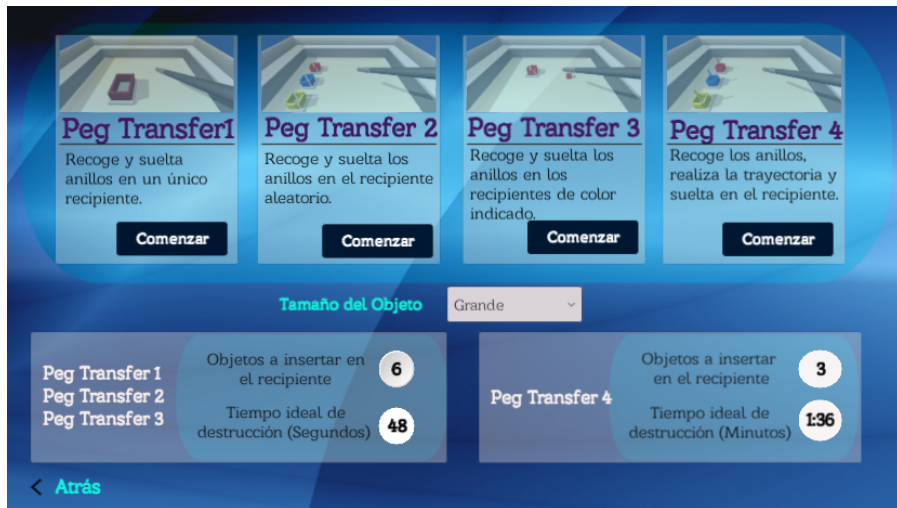


Figura 120: Menú peg transfer.  
Fuente: Elaboración propia.

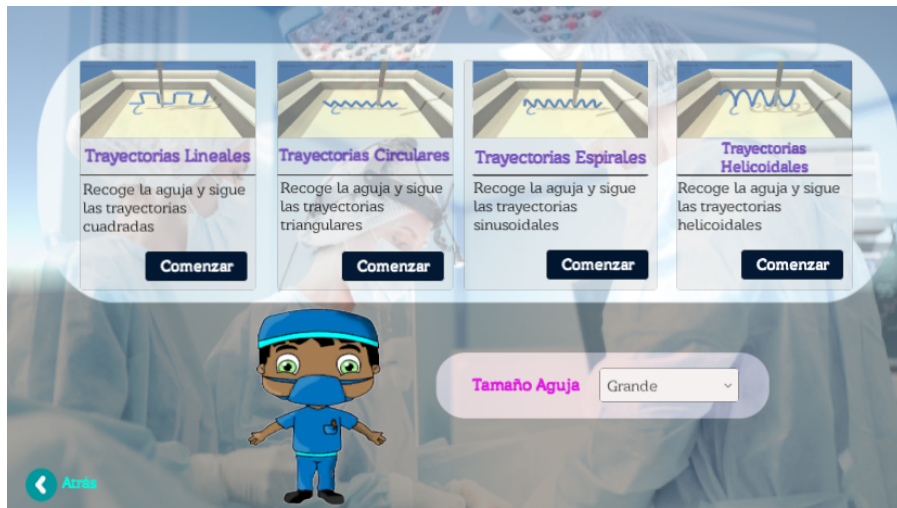


Figura 121: Menú trajectories.  
Fuente: Elaboración propia.

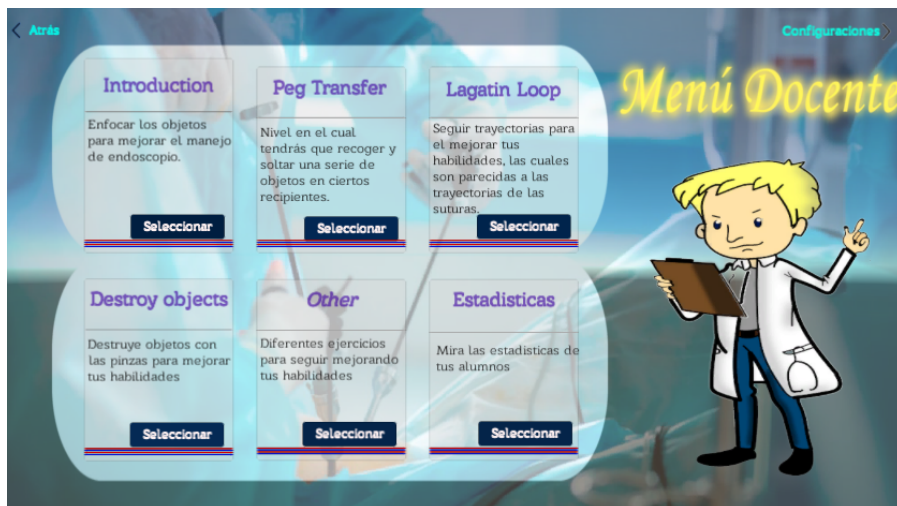


Figura 122: Menú docente.  
Fuente: Elaboración propia.

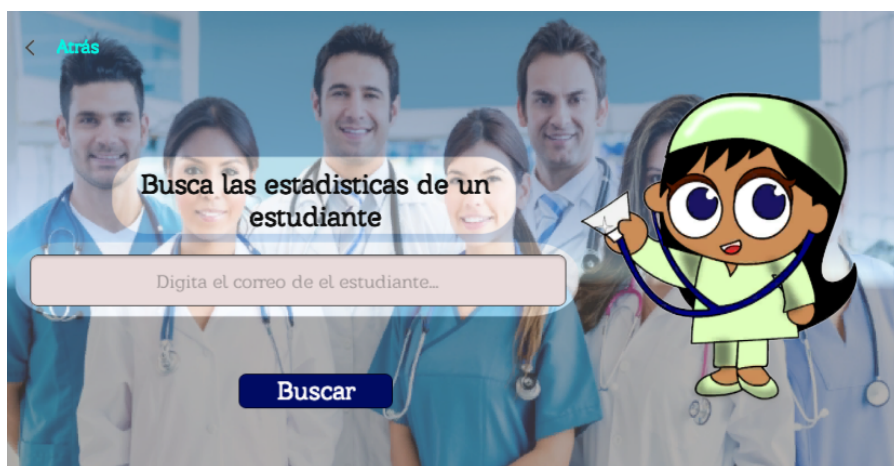


Figura 123: Menú buscar estudiantes.  
Fuente: Elaboración propia.





Figura 124: Menú configuraciones.  
Fuente: Elaboración propia.

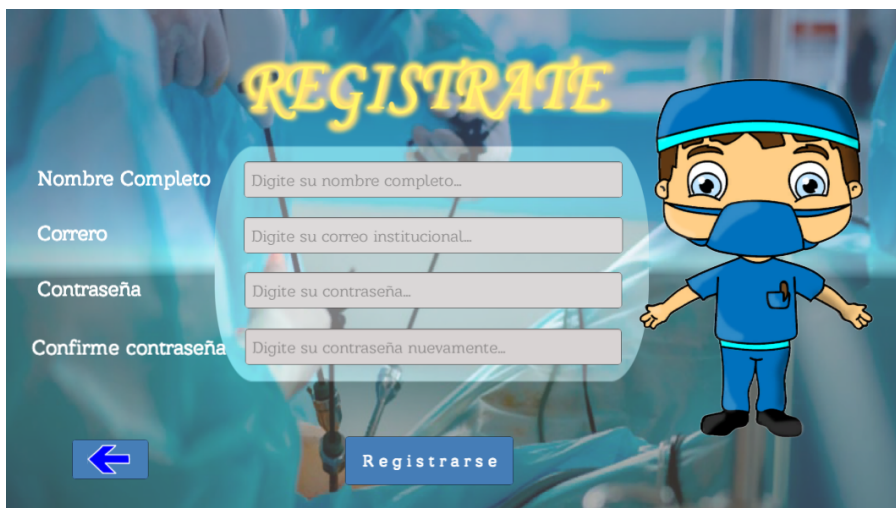


Figura 125: Menú registro.  
Fuente: Elaboración propia.

Anexo G. Puntajes registrados

NIVEL (Nivel, Subnivel)	INTENTOS	PARAMETROS	R1			R2		R3		CIRUJANO
			1	2	3	1	2	1	2	
PEG TRANSFER (SUBNIVEL 2)	1	INSERTADOS	1	1	0	2	2	3	3	3
		TIEMPO	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50
PEG TRANSFER (SUBNIVEL 3)	1	INSERTADOS	0	0	0	0	0	0	0	0
		TIEMPO	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50
PEG TRANSFER (SUBNIVEL 4)	1	INSERTADOS	X	X	X	0	2	3	3	4
		TIEMPO	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4:50	4_50	4:50

Tabla 15: Puntajes registrados

## Anexo H. Fotos



Figura 126: Residentes primer año.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 127: Residente de primer año.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 128: Residente de primer año.  
Fuente: Elaboración propia.



Figura 129: Residente de segundo año.  
Fuente: Elaboración propia.

