

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIAS FISICAS Y FORMALES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA DE SISTEMAS



"SIMULADOR DE COLECISTECTOMÍA LAPAROSCÓPICA PARA EL ADIESTRAMIENTO EN DESTREZAS QUIRÚRGICAS BASADO EN OPEN HARDWARE"

Tesis presentada por el Bachiller:

Gustavo Alfonso Del Castillo Carpio

Para optar por el Título Profesional:

INGENIERO DE SISTEMAS

Asesor: Mgter. Karina Rosas Paredes

Arequipa – Perú

2017

PRESENTACIÓN

Sra. Directora de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas,
Sres. Miembros del Jurado Examinador de Tesis,

De conformidad con las disposiciones del reglamento de Grados y Títulos de la Escuela Profesional de Ingeniería de Sistemas, remito a vuestra consideración el estudio de investigación titulado **“SIMULADOR DE COLECISTECTOMÍA LAPAROSCÓPICA PARA EL ADIESTRAMIENTO EN DESTREZAS QUIRÚRGICAS BASADO EN OPEN HARDWARE”**, el mismo que al ser aprobado me permitirá optar por el título profesional de Ingeniero de Sistemas.



AGRADECIMIENTOS

Es difícil expresar en síntesis cada sentimiento de gratitud hacia todos los que me apoyaron en este camino.

A mi Madre por su sacrificio, amor y por siempre estar incentivándome a dar más de mí.

A mi Padre que desde el cielo me acompaña y me cuida.

A mi Prometida Carol Fiorella, mi alma gemela, gracias por todo el amor, cariño, consejos y apoyo que me diste y me das siempre.

RESUMEN

La cirugía laparoscópica o mínimamente invasiva, es una técnica quirúrgica muy empleada hoy en día, ya sea porque presenta menos complicaciones postquirúrgicas o por el tiempo de estancia hospitalaria postoperatoria.

Sin embargo para el dominio de esta técnica, es necesaria la adaptación al manejo de diversos instrumentos, técnicas y adquisición de destrezas, los cuales solo se logran obtener mediante la práctica, actualmente ésta es adquirida por el uso de simuladores inanimados, simuladores virtuales de alto coste y el manejo directo de pacientes en sala de operaciones, lo cual dificulta para los médicos y estudiantes en general, lograr adiestrarse las veces necesarias para el aprendizaje en un ambiente laparoscópico realista.

Ante esta necesidad se vio necesario el desarrollo de una solución tecnológica a través de un prototipo simulador de cirugía laparoscópica, accesible, mediante el cual se apunta a cubrir la ausencia de experiencia clínica.

Se realizó una encuesta dirigida a médicos cirujanos que realizan de manera rutinaria el procedimiento, en esta encuesta se evaluaron diferentes aspectos como utilidad, concordancia del ambiente virtual con la realidad y movimientos de pinzas, así como si sería conveniente incluirlo en entrenamientos laparoscópicos, la encuesta refleja que se tuvo aceptación considerándolo útil para prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia, llegando a considerarse su uso de manera habitual.

En el desarrollo del prototipo se utilizó open hardware "Arduino" para incorporar sensores electrónicos, lenguajes de programación orientado a objetos como C# y Java para desarrollar el software necesario del simulador, para integrar las tecnologías antes mencionadas se hizo uso del software "Unity"(Game Engine). Todo esto permitió el desarrollo del simulador como un prototipo.

Se concluye que la solución tecnológica desarrollada, permite el entrenamiento de médicos de manera procedimental y práctica, imprescindibles para el correcto desarrollo de habilidades en la técnica quirúrgica laparoscópica, se presenta un prototipo de simulador laparoscópico exponiendo la técnica de colecistectomía laparoscópica, el cual posibilitará adiestrarse en un ambiente laparoscópico realista, portable y accesible al usuario promedio.

Palabras clave: cirugía laparoscópica, colecistectomía laparoscópica, Arduino, Unity.



ABSTRACT

The laparoscopic surgery or minimally invasive surgery, is a surgical technique widely used nowadays, either because it has fewer postsurgical complications or the postoperative hospital stay.

However, for the mastery of this technique, it is necessary to adapt to the management of various instruments, techniques and skills acquisition, the results of the tests are only achieved by the practice, are currently acquired by the use of inanimate simulators, virtual simulators High cost and patient management in the operating room, making it difficult for doctors and students in general, achieving train times necessary for learning in a realistic laparoscopic environment.

Given this need it was necessary to develop a technological solution through a prototype simulator of laparoscopic surgery, accessible, by which it aims to cover the absence of clinical experience.

A survey was conducted aimed at surgeons who routinely perform the procedure. In this survey, different aspects such as utility, virtual environment concordance and tweezers movements were evaluated, as well as whether it would be convenient to include it in laparoscopic training, the survey Reflects that it was accepted considering it useful for practices of skills and skills in laparoscopy, coming to be considered its use in a habitual way.

In the development of the prototype, open hardware "Arduino" was used to incorporate electronic sensors, object oriented programming languages such as C # and Java to develop the necessary simulator software, to integrate the technologies mentioned above was made use of software "Unity" (Game Engine). All this allowed the development of the simulator as a prototype.

It is concluded that the technological solution developed, allows the training of physicians in a procedural and practical manner, essential for the correct development of skills in the

laparoscopic surgical technique, a prototype of a laparoscopic simulator is presented, exposing the technique of laparoscopic cholecystectomy, which will make it possible to train in a realistic laparoscopic environment, portable and accessible to the average user.

Keywords: Laparoscopic surgery, laparoscopic cholecystectomy, Arduino, Unity.



INTRODUCCIÓN

Un simulador virtual de cirugía laparoscópica debería ser una herramienta en el entrenamiento de habilidades quirúrgicas, tanto en universidades como en hospitales, ya que la enseñanza médica se complementa con especialidades y subespecialidades, en las cuales el alumno siendo ya un médico titulado, aprende como médico residente en los diversos hospitales que brindan esta posibilidad.

Actualmente hay estudios que comprueban la mejora de habilidades quirúrgicas por el uso de simuladores así también es requerido un entrenamiento constante en las técnicas ya que el periodo de retención de los conocimientos de una técnica quirúrgica varía según la complejidad de la técnica y el escenario.

Debido a los altos costos de los simuladores virtuales laparoscópicos del mercado, estos son de difícil adquisición para un estudiante de medicina, un médico residente o un laboratorio especializado en cirugías en la universidad, razón por la cual estos usuarios adquieren para entrenarse en cirugías laparoscópicas muchas veces adquieren simuladores inanimados básicos o simuladores caseros los cuales brindan un entrenamiento limitado (suturas y nudos) y no proporcionan un ambiente realista a una intervención quirúrgica del tipo laparoscópico ni a la técnica quirúrgica.

Un simulador virtual de cirugía laparoscópica es una herramienta muy importante, que debería poder estar al alcance de los estudiantes de medicina y de médicos que cursen una especialidad en cirugía.

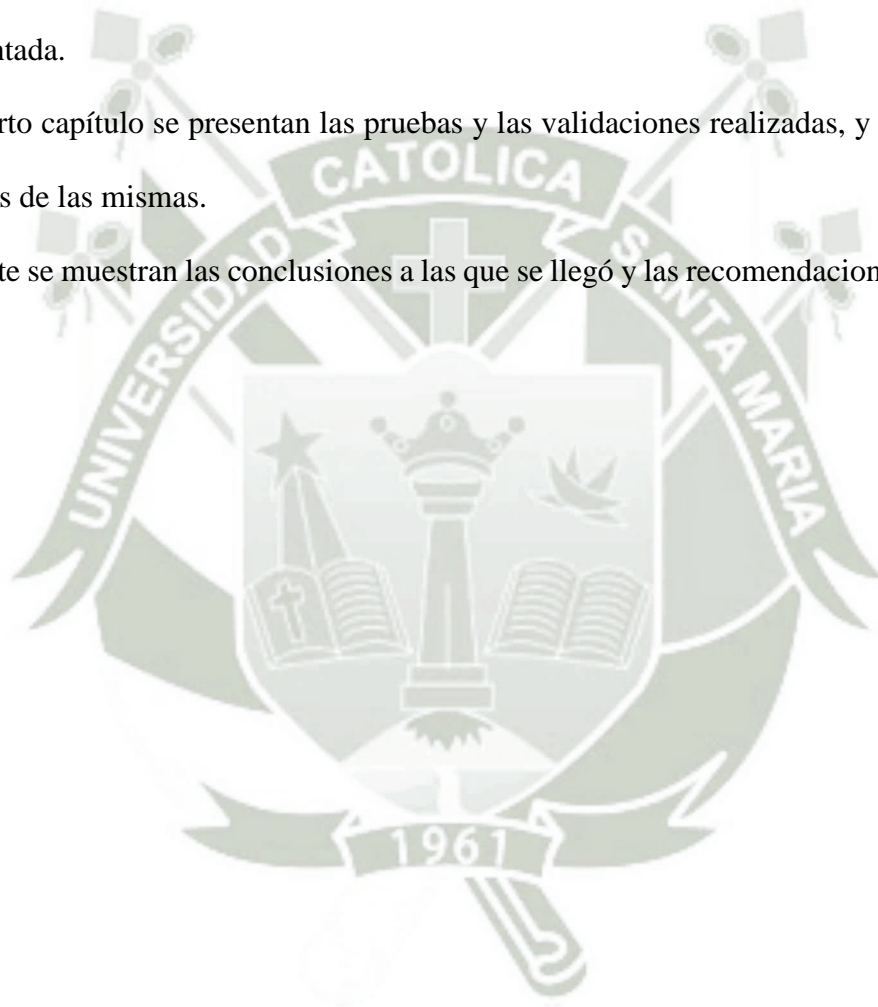
El presente trabajo se ha distribuido en cuatro capítulos. En el primer capítulo se presenta el planteamiento teórico y se establece la necesidad de un simulador de cirugía laparoscópica para el entrenamiento de habilidades quirúrgicas, se plantean los objetivos, también se establecen las limitaciones y alcances.

En el segundo capítulo se sientan las bases teóricas, se examina la literatura con la cual se cimientan las experimentaciones en simuladores, se describe la tecnología a emplear, la técnica quirúrgica que se implementará para el proyecto, además se presenta terminología y conceptos predominantes a lo largo del documento.

En el tercer capítulo se realiza la implementación de la propuesta, se detallan los modelos implementados y se integran con la plataforma de game engine, también se describe la lógica implementada.

En el cuarto capítulo se presentan las pruebas y las validaciones realizadas, y se exponen las evidencias de las mismas.

Finalmente se muestran las conclusiones a las que se llegó y las recomendaciones para futuros trabajos.



ÍNDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT	vi
INTRODUCCIÓN	viii
CAPITULO 1 – PLANTEAMIENTO TEÓRICO	1
1.1. Planteamiento del problema.....	1
1.2. Descripción del problema.....	2
1.3. Justificación	2
1.4. Objetivos del Proyecto	5
1.4.1. Objetivo general	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5 Área científica y línea	5
1.7. Tipo y nivel de investigación.....	6
1.8. Limitaciones y alcances	6
1.8.1. Limitaciones.....	6
1.8.2. Alcances.....	6
1.9. Antecedentes de la investigación.....	7
CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO	8
2.1. Estado del arte.....	8
2.2. Historia de la experimentación medica.....	15
2.3. Código de Núremberg	15
2.4. La declaración de Ginebra	16
2.5. La declaración de Helsinki	16
2.6. Simuladores en educación quirúrgica	18
2.7. Unity	21
2.7.1. Paneles principales en Unity	23

2.7.1.1. El panel Scene.....	23
2.7.2.2. El panel Game.....	23
2.7.2.3. El panel Hierarchy.....	24
2.7.2.4. El panel Project.....	25
2.7.2.5. El panel Inspector	26
2.8. MonoDevelop.....	27
2.9. Blender	28
2.10. Arduino.....	30
2.10.1. Microcontrolador Atmega328p características.....	33
2.10.2. Medio integrado de desarrollo de Arduino (IDE).....	34
2.10.3. Modelos de placas Arduino.....	36
2.11. Cirugía laparoscópica.....	39
2.12. Técnica quirúrgica colecistectomía laparoscópica.....	42
2.12.1. Vesícula biliar.....	42
2.12.2. Pasos de la técnica laparoscópica	43
CAPITULO 3 - IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA	46
3.1. Descripción de la propuesta.....	46
3.2. Desarrollo de modelo 3D.....	47
3.2.1. Modelo hígado	47
3.2.2. Modelo vesícula biliar – vía biliar	49
3.2.3. Modelo arteria cística.....	51
3.2.4. Grasa superior estomago – estomago	52
3.2.5. Pinzas laparoscópicas	54
3.2.6. Pinza grasper	54
3.2.7. Pinza hook	56
3.2.8. Grapa laparoscópica.....	57
3.2.9. Pared abdominal	58

3.3. Integración en Unity	60
3.3.1. Escena introductoria	65
3.3.2. Escenario de simulación	65
3.3.3. Movimiento de pinzas	67
3.3.4. Grapado de pinzas.....	69
3.3.5. Proximidad de pinzas.....	70
3.3.6. Corte de pinzas	71
3.3.7. Prototipo finalizado	72
CAPITULO 4 – PRUEBAS Y VALIDACIÓN.....	75
4.1. Pregunta 1	78
4.3. Pregunta 2	79
4.4. Pregunta 3	80
4.5. Pregunta 4	81
4.6. Pregunta 5	82
4.7. Pregunta 6	83
4.8. Pregunta 7	84
4.9. Pregunta 8	85
4.10 Pregunta 9	86
COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN	87
CONCLUSIONES	88
RECOMENDACIONES	91
BIBLIOGRAFÍA.....	92
ANEXO 1 – ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE.....	93
ANEXO 2 – ESPECIFICACIONES DE HARDWARE.....	110

GLOSARIO DE TÉRMINOS 113



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Simulador casero.....	4
Figura 2. Simulador comercial.....	4
Figura 3. Unity v.4.6, Área de trabajo donde se realizó el simulador y pantalla de inicio.....	22
Figura 4. Unity v.4.6, Panel Scene.....	23
Figura 5. Unity v.4.6, Panel Game.....	24
Figura 6. Unity v.4.6, Panel Hierarchy.....	25
Figura 7. Unity v.4.6, Panel Project.....	26
Figura 8. Unity v.4.6, Panel Inspector.....	27
Figura 9. MonoDevelop espacio de trabajo utilizado del IDE.....	28
Figura 10. Tableros de trabajo de Blender v2.77.....	30
Figura 11. Placa Arduino Uno.....	32
Figura 12. Diagrama de alimentación de información por sensores en Arduino y comunicación con Computador personal.....	32
Figura 13. Mapa de pines de Atmega328 en Arduino uno.....	33
Figura 14. Pantalla de selección de placa a emplear.....	34
Figura 15. interfaz del IDE de Arduino y métodos por default en sketch nuevo.....	35
Figura 16. Monitor serie del IDE de Arduino.....	36
Figura 17. Trocares de Cirugía laparoscópica.....	40
Figura 18. Trocar insertado en paciente.....	40

Figura 19. Cirujano realizando una intervención laparoscópica.	41
Figura 20. Pinza laparoscópica.	42
Figura 21. Hígado, Vesícula Biliar, Conducto Cístico, Arteria Cística.....	43
Figura 22. Levantamiento Hígado, y Vesícula Biliar.	44
Figura 23. desprendiendo vesícula biliar del hígado y dejando al descubierto el conducto cístico y la arteria cística.	44
Figura 24. Grapado y separación de conducto cístico y arteria biliar.	45
Figura 25. extracción de vesícula biliar y fin del procedimiento.....	45
Figura 26. Imagen frontal de enmallado – Hígado.....	47
Figura 27. Imagen frontal de enmallado se incluyen mejoras anatómicas – Hígado.	48
Figura 28. Modelado final de Hígado, vista frontal.....	49
Figura 29. Versión inicial Vesícula – Vía biliar.	49
Figura 30. Modelo de vesícula – vía biliar.....	50
Figura 31. Vesícula Biliar y Vía biliar.....	51
Figura 32. Arteria cística primera versión anatómica.	51
Figura 33. Arteria cística modelo final.	52
Figura 34. Grasa superior de estómago.	53
Figura 35. Estomago a través de la grasa.....	53
Figura 36. Distintos tipos de Pinza Grasper.....	55
Figura 37. Pinza grasper modelada para el prototipo cerrada.	56
Figura 38. Pinza grasper modelada para el prototipo abierta.	56

Figura 39. Pinza Hook laparoscópica.....	57
Figura 40. Pinza Hook modelada.....	57
Figura 41. Grapa para sutura de conducto cístico y arteria cística.....	58
Figura 42. Cavidad abdominal.....	59
Figura 43. Integración de elementos anatómicos.....	59
Figura 44. GameObject Arteria Cística.....	61
Figura 45. GameObject Pinza Hook.....	62
Figura 46. GameObject Grasa superior estómago.....	63
Figura 47. GameObject Vesícula Biliar.....	64
Figura 48. Introducción – Menú principal.....	65
Figura 49. GameObjects en Unity.....	66
Figura 50. GameObjects en Unity.....	66
Figura 51. GameObjects en Unity.....	67
Figura 52. Representación de los movimientos que puede brindar el cuaternión.....	68
Figura 53. prototipo vista frontal, con escenario laparoscópico.....	72
Figura 54. Prototipo frontal se observan mejor los detalles del escenario simulado en 3D.....	73
Figura 55. Vista de pinza laparoscópica con integración de sensores.....	73
Figura 56. Pinza laparoscópica con integración de sensores.....	74
Figura 57. ¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las practicas?	78
Figura 58. ¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?.....	79

Figura 59. ¿Es fácil de usar?	80
Figura 60. ¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?.....	81
Figura 61. ¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?.....	82
Figura 62. ¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?	83
Figura 63. ¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?.....	84
Figura 64. ¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?	85
Figura 65. ¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?.....	86
Figura 66. Colisionador Hook.	105
Figura 67. Configuración Pinza Hook.....	105
Figura 68. Colisionador Grasper.....	106
Figura 69. Configuración Pinza Grasper.....	106
Figura 70. Colisionador Vesícula.....	107
Figura 71. Configuración Vesícula.....	107
Figura 72. Colisionador Arteria.....	108
Figura 73. Configuración Arteria.....	108
Figura 74. Colisionador Hígado.....	109
Figura 75. Configuración Hígado.....	109
Figura 76. Configuración de Hardware.....	112
Figura 77. Configuración de Hardware Modelo tipo PCB.....	112

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Matriz de consolidacion de datos.....	77
Tabla 2. ¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las practicas?.....	78
Tabla 3. ¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?	79
Tabla 4. ¿Es fácil de usar?.....	80
Tabla 5. ¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?	81
Tabla 6. ¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?	82
Tabla 7. ¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?	83
Tabla 8. ¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?	84
Tabla 9. ¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?	85
Tabla 10. ¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?	86
Tabla 11. Tabla de costos de implementación del prototipo finalizado	87

CAPITULO 1 – PLANTEAMIENTO TEÓRICO

1.1. Planteamiento del problema

En nuestra era la cirugía laparoscópica se está convirtiendo en el estándar de muchos procedimientos de cirugía, por ejemplo: en nuestro país y en el mundo la cirugía más realizada es la colecistectomía laparoscópica. Es decir que todo médico cirujano, al terminar su especialización debe como mínimo realizar en forma óptima este procedimiento.

El entrenamiento en dichos procedimientos, actualmente se realiza en simuladores de varios tipos, el más común una caja cerrada que consta de una cámara conectada a una pantalla y se usan pinzas de laparoscopia; otros utilizan ambientes virtuales simulados; también se realiza cirugías en vivo en animales, pero debido al dilema ético de cirugía en seres vivos se ha fomentado el uso de simuladores inanimados.

Un simulador virtual laparoscópico, emplea técnicas que permiten una interacción en tiempo real con escenarios anatómicos predefinidos, pudiendo correlacionar movimientos precisos en el mundo real y su traducción al escenario virtual. En el Perú los médicos residentes de cirugía entrenan principalmente en simuladores inanimados y una vez adquirido ciertas destrezas pasan a realizar el procedimiento en pacientes bajo la supervisión de los médicos asistentes, pero dichos simuladores no permiten el repaso de los principales pasos en la técnica quirúrgica, solo se centran en desarrollar habilidad motriz poco específica. En este trabajo se propone

el desarrollo de un prototipo de simulador de cirugía laparoscópica que tendrá como escenario de acción la técnica quirúrgica “Colecistectomía laparoscópica” para el adiestramiento en este procedimiento quirúrgico.

1.2. Descripción del problema

Muchas universidades y hospitales no cuentan con un entrenamiento en cirugía laparoscópica asistido por simuladores virtuales, por el costo que estos presentan, aun cuando esta técnica quirúrgica es ampliamente utilizada en diversos hospitales, por sus ventajas frente a una cirugía tradicional.

Entrenar en un simulador de cirugía laparoscópica mejora las habilidades quirúrgicas necesarias para realizar una intervención y así reducir el riesgo quirúrgico, ya que permite practicar la técnica quirúrgica tantas veces como sea necesaria, permitiendo ejercitarse tanto en la parte procedimental como motriz. Es por estos motivos que presento el prototipo del Simulador de colecistectomía laparoscópica para el adiestramiento en destrezas quirúrgicas, el cual propone ser accesible y portátil para el usuario, para que este pueda entrenarse para el correcto desempeño en una cirugía laparoscópica con un paciente real. ^[1]

1.3. Justificación

Un simulador de cirugía laparoscópica debería ser una herramienta en el entrenamiento de habilidades quirúrgicas, tanto en Universidades como en

Hospitales, ya que la enseñanza medica se complementa con especialidades y subespecialidades, en los cuales el alumno siendo ya un médico titulado, aprende como médico residente en los diversos hospitales que brindan esta posibilidad.

Debido a los altos costos de los simuladores comerciales laparoscópicos actuales, es que son de difícil adquisición para un estudiante de medicina o un médico residente, por lo que estos para entrenarse en el campo de cirugías laparoscópicas muchas veces adquieren simuladores inanimados, o simuladores caseros (Figura 1), los cuales brindan un entrenamiento limitado y no proporcionan un ambiente realista a una intervención quirúrgica del tipo laparoscópico, a diferencia de un simulador comercial (Figura 2).

Un simulador de cirugía laparoscópica es una herramienta muy importante^[2], que debería poder estar al alcance de los estudiantes de medicina y de médicos que cursen una especialidad en cirugía, este simulador también deberá contar con ciertas características como portabilidad, indicadores de rendimiento, accesibilidad.



Figura 1. Simulador casero.

Fuente: <https://dilabsuturas.wordpress.com/blog/page/4/>



Figura 2. Simulador comercial.

Fuente: <https://medicaeducationleeds.simplybook.me/index/events>

1.4. Objetivos del Proyecto

1.4.1. Objetivo general

Desarrollar un prototipo de Simulador de colecistectomía laparoscópica para el adiestramiento en destrezas quirúrgicas, orientado a alumnos de medicina y médicos, que permita adquirir habilidades para el desarrollo del procedimiento laparoscópico.

1.4.2. Objetivos específicos

- Realizar un ambiente realista del procedimiento de Colecistectomía laparoscópica.
- Aplicar la tecnología de "Game engine".
- Aplicar la tecnología de hardware libre "Arduino" al proyecto.
- Realizar pruebas de validación del prototipo referidas a precisión, efectividad, realismo, portabilidad, escalabilidad.

1.5 Área científica y línea

El presente proyecto corresponde al área de las ciencias físicas y pertenece a la línea de simulación de sistemas.

1.7. Tipo y nivel de investigación

- Tipo Aplicada, Tecnológica.
- Nivel Experimental, Descriptiva.

1.8. Limitaciones y alcances

1.8.1. Limitaciones

Nos centraremos en la realización de un prototipo de simulación de cirugía laparoscópica específicamente en el procedimiento quirúrgico de colecistectomía laparoscópica.

1.8.2. Alcances

- Permitir adquirir los conocimientos del procedimiento quirúrgico mediante la práctica en un ambiente simulado.
- El prototipo se desarrollará mediante la aplicación de la tecnología de "Game Engine", así como hardware libre Arduino para la incorporación de sensores los cuales alimentarán el sistema.

1.9. Antecedentes de la investigación

Actualmente en el mercado existen grandes simuladores, pero son de difícil acceso para usuarios que deseen capacitarse, dado sus costos o tamaño de portabilidad.

Algunos de los simuladores prototipo que existen o que actualmente se encuentra en proyectos de desarrollo no brindan una sensación completa de realidad, dado que la parte motora del simulador, no está completamente desarrollada, o solo son enfocados en la parte visual o el renderizado de las imágenes.

Por el momento existen algunos trabajos relacionados a este tipo de simuladores virtuales^[3], la diferencia radica en las tecnologías usadas propuestas en el presente modelo, y en el costo que estos tienen para un usuario final, ya que se propone algo accesible y portable para el usuario.

CAPITULO 2 - MARCO TEÓRICO

2.1. Estado del arte

El objetivo primordial de esta tesis es el desarrollo de un prototipo de simulador de cirugía laparoscópica, y es por ello que para iniciar este trabajo es necesario el evaluar la situación actual de simuladores en cirugía laparoscópica, para esto es que tomaremos como referencias trabajos desarrollados hasta el momento. Los documentos que se analizarán serán útiles para la elaboración de esta tesis y son los siguientes:

- **PAPER 1**

Lugar: Hospital Regional Monterrey, ISSSTE.

Año de publicación: Mayo 2014.

Autor: Luis Guillermo Menchaca Ramos, Saúl Humberto Méndez Luna, Mónica del Carmen Menchaca Maciel.

Título: Utilidad del simulador para el desarrollo de habilidades y destrezas quirúrgicas en laparoscopia Utilidad del simulador para el desarrollo de habilidades y destrezas quirúrgicas en laparoscopia.

Objetivo general: Evaluar la utilidad del simulador en el tiempo necesario para realizar adecuadamente nudos laparoscópicos.

Conclusiones relevantes: Entrenarse y practicar en simulador mejora y perfecciona las habilidades y destrezas laparoscópicas, evitando así exponer al paciente real mientras se adquieren las habilidades necesarias.

- **PAPER 2**

Lugar: Delft University of Technology, Faculty of Industrial Design Engineering, Delft, The Netherlands. Department of Research and Education, and Department of Surgery, Catharina Hospital Eindhoven, Eindhoven, The Netherlands.

Año de publicación: Septiembre 2010.

Autor: Jack J. Jakimowicz, Caroline M. Jakimowicz.

Título: Simulación en cirugía, ¿dónde estamos y a dónde llegaremos?

Objetivo general: Demostrar el estado actual en capacitación de cirugía laparoscópica y como se podría beneficiar con el apoyo de herramientas de internet para impulsar el sistema de aprendizaje.

Conclusiones relevantes: Deben continuar las investigaciones sobre capacitación con simulación en cirugía. La mayoría muestran que esta modalidad mejora las habilidades, lo que sugiere que debería considerarse una herramienta valiosa de la enseñanza.

Los sistemas tutoriales continúan siendo una piedra angular del programa de capacitación quirúrgica, pero el entrenamiento con simulación multimodal apoyado por módulos basados en herramientas electrónicas, video e internet puede contribuir a la adquisición de las habilidades necesarias para los cirujanos expertos.

- **PAPER 3**

Lugar: México.

Año de publicación: 6 de junio 2012.

Autor: Raúl Rodrigo Arredondo Merino, Luis Ernesto Gallardo Valencia.

Título: Uso de simuladores en el adiestramiento de residentes.

Objetivo general: Evaluar el efecto de las prácticas estructuradas en simuladores de visión directa y la adquisición de destrezas básicas en tres días de capacitación continua durante tres horas diarias.

Conclusiones relevantes:

El simulador laparoscópico es una herramienta viable para desarrollar habilidades en residentes y personas sin experiencia laparoscópica previa, mediante la realización de prácticas estructuradas.

- **PAPER 4**

Lugar:

Department of Organ Transplantation, Changzheng Hospital, No. 415 Fengyang Road, Huangpu District, Shanghai 200003, China.

Department of Rheumatism, Changzheng Hospital, No. 415 Fengyang Road, Huangpu District, Shanghai 200003, China.

Medical Skill Experiment Teaching Center, Changzheng Hospital, No. 415 Fengyang Road, Huangpu District, Shanghai 200003, China.

Año de publicación: 18 marzo 2016.

Autor: Shangxi Fu, Xiao Liu, Li Zhou, Meisheng Zhou¹, Liming Wang.

Título: Applied Research on Laparoscopic Simulator in the Resident Surgical Laparoscopic Operation Technical Training.

Objetivo general: Estimar los efectos en las habilidades quirúrgicas después de entrenar con un simulador de cirugía laparoscópica y de forma estandarizada.

Conclusiones relevantes: En comparación con la simulación tradicional, y técnicas de enseñanza, la simulación para el entrenamiento es una manera promisorio de adquirir habilidades para una intervención en un hospital.

La enseñanza con videos y emulación mantiene una diferencia significativa.

- **PAPER 5**

Lugar: Work performed at the Penn State Milton S Hershey Medical Center.

Año de publicación: Diciembre 2001.

Autor: Randy S Haluck, MD, FACS, Renee L Marshall, MD, Thomas M Krummel, MD, FACS, Michael G Melkonian, MD.

Título: Are surgery training programs ready for virtual reality? A survey of program directors in general surgery.

Objetivo general: Identificar los factores limitantes en incorporación de tecnología de simulación en programas de entrenamiento de cirugía.

Conclusiones relevantes: Los entornos virtuales y las simulaciones basadas en computadora, están bien establecidas en el entrenamiento en otras áreas, pero no están ampliamente incorporadas en la educación quirúrgica, los resultados apuntan que un programa dirigido puede ser beneficioso en educación quirúrgica.

- **PAPER 6**

Lugar: Division of General Surgery, Minimally Invasive Surgery Research Group, The Ottawa Hospital, University of Ottawa, 501 Smyth Rd, CCW Rm 1617, Ottawa, ON K1H 8L6, Canada.

Año de publicación: Julio 2009.

Autor: B. Chan, G. Martel, E. C. Poulin, J. Mamazza, R. P. Boushey.

Título: Resident training in minimally invasive surgery: a survey of Canadian department and division chairs.

Objetivo general: Este estudio tuvo como objetivo buscar las opiniones de las cátedras de cirugía académica sobre la cirugía de cirugía mínimamente invasiva (MIS) para residentes de cirugía general y para identificar brechas y tendencias percibidas en las estrategias educativas.

Conclusiones relevantes: El método más eficaz de enseñanza para las cirugías mínimamente invasiva son los casos de cirugía básicos, seguidos por simuladores de realidad virtual laparoscópicos. La mayoría de las instituciones académicas planea agregar simuladores laparoscópicos de realidad virtual al currículo en los próximos 5 años.

- **PAPER 7**

Lugar: Department of Surgery, SL-22, Tulane Center for Minimally Invasive Surgery, 1430 Tulane Ave., New Orleans, LA 70112-2699, USA.

Año de publicación: Marzo 2005.

Autor: James R. Korndorffer, Jr, M.D. , Dimitris Stefanidis, M.D., Ph.D., Daniel J. Scott, M.D.

Título: Laparoscopic skills laboratories: current assessment and a call for resident training standards.

Objetivo general: Numerosos protocolos para el entrenamiento de habilidades laparoscópicas usando laboratorios basados en simuladores han demostrado ser efectivos. Sin embargo, se sabe poco sobre la disponibilidad y uniformidad de tales instalaciones. El propósito de este estudio fue evaluar la prevalencia, la utilización y los costos de los laboratorios de habilidades actualmente en uso.

Conclusiones relevantes: Si bien una gran mayoría de los directores de programas consideran que los laboratorios de habilidades son importantes, el 45% de los programas no tienen tales facilidades. Además, existe una variabilidad significativa de los equipos y prácticas de capacitación en los laboratorios actualmente disponibles. Se necesitan estrategias para una aplicación más amplia de los laboratorios de aptitudes y se deben elaborar normas para facilitar la adopción uniforme de programas de estudios validados que permitan maximizar de forma fiable la eficacia de la formación y los beneficios educativos.

- **PAPER 8**

Lugar:

Grupo de Redes de Computadores, Engenharia de Software e Sistemas - Fortaleza – CE.

Instituto UFC Virtual -Fortaleza – CE.

Departamento de Cirurgia - Escola de Medicina - Fortaleza – CE.

Universidade Federal do Ceará - Fortaleza – CE.

Año de publicación: 2015.

Autor: Julián Valerio, Luís Fernando Silva, Alysson Santos, Antonio Melo Junior, Fernando Trinta, Antonio Aldo Melo Filho, Windson Viana.

Título: Avaliação do uso de realidade aumentada e gamificação para o treinamento de habilidades em laparoscopia.

Objetivo general: En los entrenadores de caja laparoscópica, estas habilidades pueden ser practicadas, con actividades simples de navegación y coordinación, en este artículo proponemos para extender los cajones laparoscópicos con Realidad Aumentada (AR) y Gamificionales, nuestra propuesta introduce una cámara adicional y algoritmos para monitorear los movimientos de los objetos manipulados. con este, podemos observar el desempeño del usuario durante la actividad de entrenamiento.

Conclusiones relevantes: Los resultados indican una buena usabilidad, aceptación del box-trainer. También observamos una diferencia significativa de rendimiento entre cirujanos y estudiantes del primer año de residencia.

La simulación en la educación, se centra en ubicar a un estudiante en un ambiente simulado el cual copia a un ambiente real en algún aspecto en específico, esto con la finalidad de brindar una experiencia de aprendizaje realista, guiada y controlada.

En medicina la simulación es empleada para reproducir vivencias reales de casos clínicos a través de escenarios, el potencial de la simulación en educación médica

se da cuando es posible diseñar los escenarios de manera consistente, predecibles, estandarizados para un entrenamiento médico.

2.2. Historia de la experimentación medica

Para hablar en la actualidad de la simulación en medicina, debemos entender algunos puntos básicos de cómo se llega a la evolución actual y a la necesidad del uso de simuladores, tanto virtuales como inanimados.

2.3. Código de Núremberg

Durante la segunda guerra mundial, los nazis realizaron experimentos médicos humanos en los nefastos campos de concentración, estos experimentos, se realizaron sin consentimiento de los sujetos de prueba, además se cometían actos inhumanos en estos experimentos. En estos experimentos se obligaron a los sujetos de prueba, la gran mayoría prisioneros de guerra, además no se contaba con un consentimiento informado, estos hechos llegaron al punto de ser considerados tortura médica, todo por conocer lo que los sujetos de prueba pudieran soportar, y por tener avances a través de la experimentación científica o pseudo científica sobre seres humanos.

El Código de Núremberg compila pilares para guiar la experimentación en humanos, producto de los juicios de Núremberg al término de la Segunda guerra mundial, el código se basa en los criterios empleados para la condena de los

médicos nazis por los experimentos inhumanos que se realizaron en los prisioneros.

El código hace hincapié en el concepto del consentimiento informado y voluntario de los sujetos de prueba en un experimento, que estos no deben tener ninguna clase de coerción, también evitando el sufrimiento tanto mental como físico y que debe ser beneficioso para el individuo y para la sociedad siempre que sea evidenciado de tal modo.

2.4. La declaración de Ginebra

La II Asamblea General de la Asociación Médica Mundial, reunida en Ginebra 1948, toma en consideración reestructurar el Juramento hipocrático, esto como consecuencia de los actos cometidos durante la Segunda Guerra Mundial, para que esta actualizada versión del juramento hipocrático sea recordada por el nuevo médico, al ser citada en el momento de recibir el título de la profesión médica.

“Velar con el máximo respeto por la vida humana desde su comienzo, incluso bajo amenaza, y no emplear mis conocimientos médicos para contravenir las leyes humanas” (fragmento del juramento).

2.5. La declaración de Helsinki

Adoptada en junio de 1964 en Helsinki, se origina debido a que el Código de Núremberg, no llegó a una aceptación general en cuanto a los pilares éticos que

proponía en la investigación humana, un punto diferencial importante con el Código de Núremberg se da sobre las condiciones del consentimiento donde ya no es tan restrictivo como se había planteado.

“En el caso de incompetencia legal, el consentimiento informado debe ser otorgado por el tutor legal en conformidad con la legislación nacional. Si una incapacidad física o mental imposibilita obtener el consentimiento informado, o si la persona es menor de edad, en conformidad con la legislación nacional la autorización del pariente responsable sustituye a la de la persona. Siempre y cuando el niño menor de edad pueda de hecho otorgar un consentimiento, debe obtenerse el consentimiento del menor además del consentimiento de su tutor legal” (principio básico -Declaración de Helsinki).

“En toda investigación en personas, cada posible participante debe ser informado suficientemente de los objetivos, métodos, beneficios y posibles riesgos previstos y las molestias que el estudio podría acarrear. Las personas deben ser informadas de que son libres de no participar en el estudio y de revocar en todo momento su consentimiento a la participación” (principio básico -Declaración de Helsinki)

La declaración engloba principios éticos básicos que deben servir de referencia constante como guía para la comunidad médica e individuos que tienen como área la experimentación con seres humanos. Actualmente se emplea como

recomendaciones guía y autorregulación para los médicos orientados a la investigación y/o experimentación con seres humanos.

2.6. Simuladores en educación quirúrgica

En el siglo III a. C. el cirujano hindú Sushuruta es el primero en considerar la utilización de simuladores en el entrenamiento quirúrgico, aconsejaba usar un melón para adiestrarse en incisiones y también hacia uso de una muñeca de lino a escala real, para proceder con el entrenamiento en vendajes. Desde aquellos tiempos muchos factores evolucionaron y cambiaron, citando algunos se podría mencionar un crecimiento sobre la conciencia de los pacientes, la seguridad en el sector de la salud, calidad en atención, robustez de la bioética y por último aumento la complejidad en los procedimientos médicos.^[4]

La enseñanza de cirugía estuvo cimentada en el aprendizaje en sala de operaciones, a través de la aplicación de las técnicas quirúrgicas directamente sobre pacientes, basado en la adquisición de conocimientos que se conseguían sobre la observación de una intervención en un paciente, y la posterior aplicación de lo aprendido por el estudiante en una intervención supervisada por el medico educador.

En el mundo actual, los avances en tecnología son cada vez más amplios en todas las áreas de conocimiento humano, y era de esperar que estos avances impacten en la educación positivamente, muchas veces reduciendo la curva de aprendizaje, o implementando nuevas técnicas de educación, a través de la integración de ramas

científicas diferentes. Al mismo tiempo con el pasar de la historia médica se adquirió una conciencia más elevada en relación a la seguridad del paciente, al punto de exigir nuevas formas de educación.

Una de las ventajas de la simulación es que proporciona la posibilidad de practicar habilidades motrices, y procedimientos complejos, además de permitir al alumno aprender de los errores cometidos en la simulación, esto realizado en un ambiente seguro tanto para el alumno como para un paciente potencial. Por otro lado, la practica directa sobre un paciente podría ocasionar daños involuntarios a este, es muy importante identificar que, al momento de realizar un entrenamiento simulado, todos los recursos se centran en el alumno y su aprendizaje, obviando por completo el hecho de cuidar a un paciente.

La necesidad de simulación para el aprendizaje quirúrgico, es una evolución natural en el proceso de aprendizaje médico, al punto de considerarlo como una herramienta indispensable para adquirir destrezas quirúrgicas.

En 2001, se realizó un estudio de directores de programas en cirugía general en Estados Unidos, se llegó a la conclusión que este tipo de tecnología podría ser beneficioso en la educación quirúrgica ^[16]. en 2005 James R. Korndorffer indica que numerosos protocolos de entrenamiento para habilidades laparoscópicas han demostrado ser en su mayoría eficaces, indica también que se necesitan estrategias para aplicar de manera generalizada en los laboratorios, estos estándares deberían

ser desarrollados para facilitar la adopción uniforme en planes de estudio, que maximizan la eficiencia y el beneficio en educación^[6].

En 2009 en Canadá se realizó un estudio sobre la capacitación en residentes de cirugía mínimamente invasiva, en este estudio se tuvo como principal objetivo buscar opiniones de jefaturas en cirugía y de académicos relacionados, para determinar deficiencias y nuevas tendencias que se presentan en las estrategias educativas, se encuestó a 30 centros académicos, de los cuales solo 26 respondieron, en los resultados podemos encontrar que el método de enseñanza más efectivo es la exposición temprana a sala de operaciones de cirugía mínimamente invasiva(100%), seguido está el simulador de realidad virtual laparoscópica (91%) y los laboratorios de animales (88%), las aplicaciones informáticas se consideraron útiles solo en un (42%) y el método con menos tasa de utilidad son las charlas didácticas presentando un (16%), también se consideró que en los próximos 5 años, el 62% de los centros académicos incluirían simuladores laparoscópicos de realidad virtual para su plan de estudios en cirugía mínimamente invasiva.^[7] bajo este estudio podemos indicar que es una tendencia moderna el implementar métodos de simulación para la educación en cirugía más aun la simulación mediante realidad virtual, está tomando un rol importante en los planes de estudio actuales, como respaldo y apoyo a las técnicas de enseñanza tradicionales empleadas en los últimos años.

En el presente año se publicó un artículo en “Indian Journal of Surgery” donde se estima los efectos del entrenamiento en simuladores virtuales orientados a la cirugía laparoscópica, se desprende del artículo que la enseñanza con estos simuladores son efectivos, y que podrían apoyar en estudiantes sin experiencia para adquirir habilidades laparoscópicas básicas de forma rápida, un curso en un simulador podría mejorar sobretodo la coordinación mano-ojo y la percepción del sentido de profundidad, también se daría una mejora sobre la familiaridad del estudiante con las cirugías, reduciendo el tiempo operatorio y el riesgo que este conlleva.^[8]

2.7. Unity

Es un motor y editor de juegos, con características muy profesionales, las cuales permiten crear de forma simple variedades de juegos tanto en 3D como 2D, una parte muy importante en este motor de juego es la parte física que brinda, para que el juego sea aún más realista, este motor nos permite integrar objetos tales como mallas 3D, audio, scripts de diversos lenguajes de programación para controlar la lógica del juego, iluminación de objetos, interfaz gráfica y demás.

Este software tiene la posibilidad de utilizar una versión gratuita cuyas bondades no tienen nada que envidiar a otros paquetes más costosos. Es también un punto importante el desempeño, el cual es muy bueno sopesando el realismo que provee en los escenarios que pueden crearse.

Unity es un software muy intuitivo el cual provee herramientas útiles, el editor del software permite realizar ejecuciones de prueba para verificar el funcionamiento del juego desarrollado, y la ejecución de scripts se lleva a cabo en un programa de edición de código externo(MonoDevelop).^[9]

En el presente trabajo emplearemos el software Unity v 4.6 (Figura 3) para PC, el producto final será para plataforma Windows, dado que requerimos que el prototipo desarrollado tenga óptimos recursos de hardware, los cuales son más abundantes en desktops o laptops a diferencia de un dispositivo móvil, los cuales aún no llegan a tener la capacidad de procesamiento y de memoria que puede ofrecer un computador portátil o desktop a un precio competitivo.

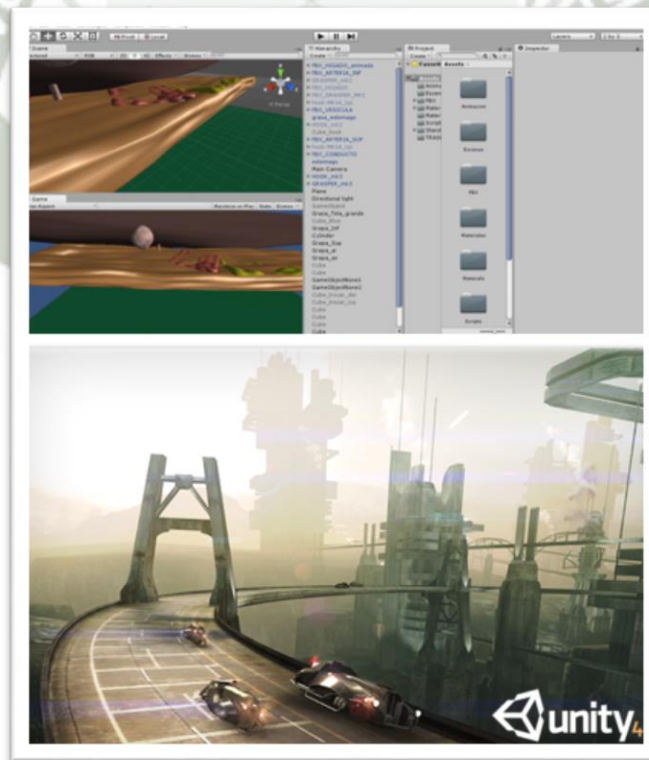


Figura 3. Unity v.4.6, Área de trabajo donde se realizó el simulador y pantalla de inicio.

Fuente: Propia.

2.7.1. Paneles principales en Unity

2.7.1.1. El panel Scene

El panel escena es donde se crea el mundo virtual, es aquí en donde se construye el escenario en este caso la simulación. Aquí se edita y visualiza en que posiciones van los objetos que incluimos en la simulación, también podemos evidenciar la presencia de elementos tales como iluminación, coordenadas, planos, ejes.

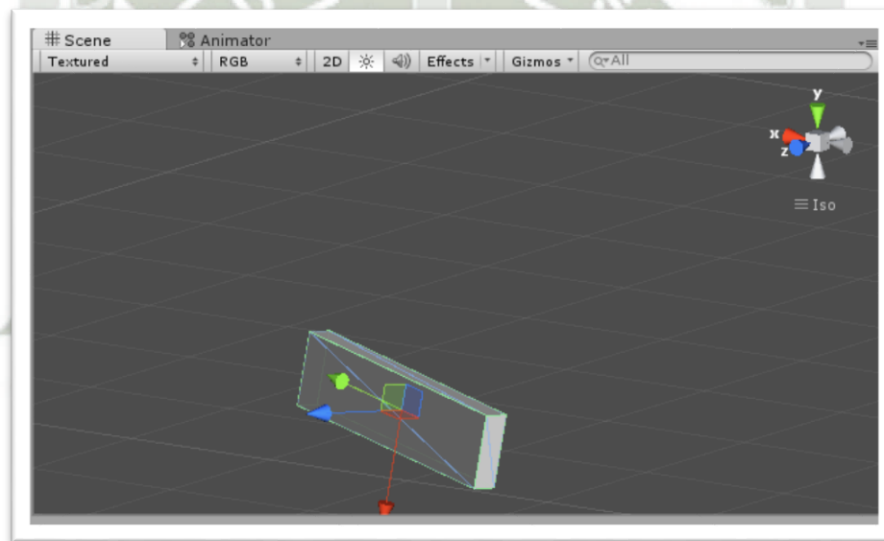


Figura 4. Unity v.4.6, Panel Scene.

Fuente: Propia.

2.7.2.2. El panel Game

Este panel nos permite la ejecución simulación, con lo cual podremos observar el modo en el cual se presentará en pantalla en una reproducción real. La perspectiva

que nos presenta es desde la cámara principal, sin embargo, esta cámara puede ser reubicada en cualquier sentido según conveniencia, además que se pueden integrar múltiples cámaras a la escena para diferentes ángulos de visión. Para poder visualizar la ejecución de lo que se desarrolla es necesario usar los botones de control que se encuentran en la parte superior (play, pause, next).

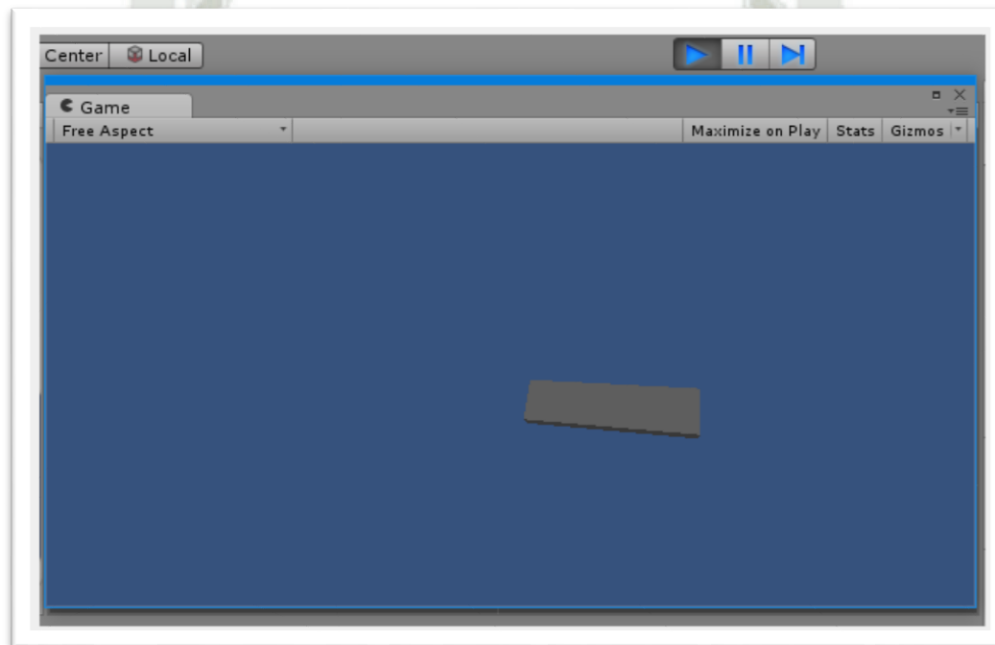


Figura 5. Unity v.4.6, Panel Game.

Fuente: Propia.

2.7.2.3. El panel Hierarchy

La importancia de este panel radica en que nos muestra todos los objetos colocados en la escena de la simulación, tanto si están activos o inactivos. Además de indicarnos la jerarquía entre los objetos que tenemos, también brinda una forma

rápida de acceder a los objetos y elementos de la escena con solo su selección, ya sea que estemos requiriendo su edición o para ver los atributos anexados a este.

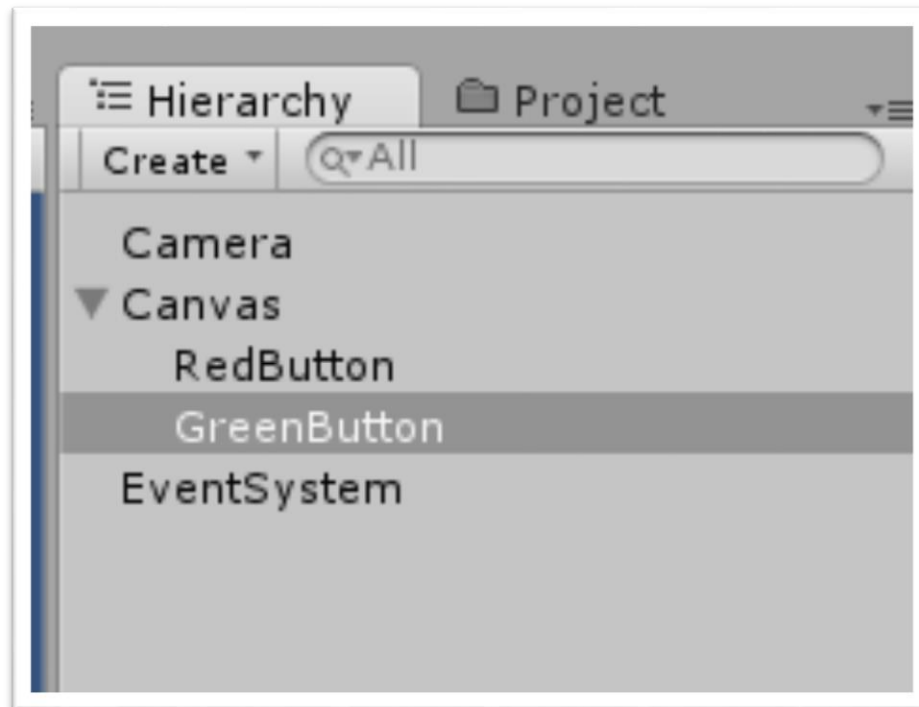


Figura 6. Unity v.4.6, Panel Hierarchy.

Fuente: Propia.

2.7.2.4. El panel Project

Este panel muestra todos los recursos que comprenden la simulación en este caso, aun cuando estos sean usados en el proyecto o se encuentren en espera de asignación a algún objeto, este panel permite también la organización de elementos por carpetas, cada elemento u objeto tiene iconos característicos, por ejemplo, en las escenas se representan mediante el icono de Unity, los scripts

tienen en el icono la descripción del lenguaje que utilizan (C# o JS según sea el caso), y así en cada diferente objeto.

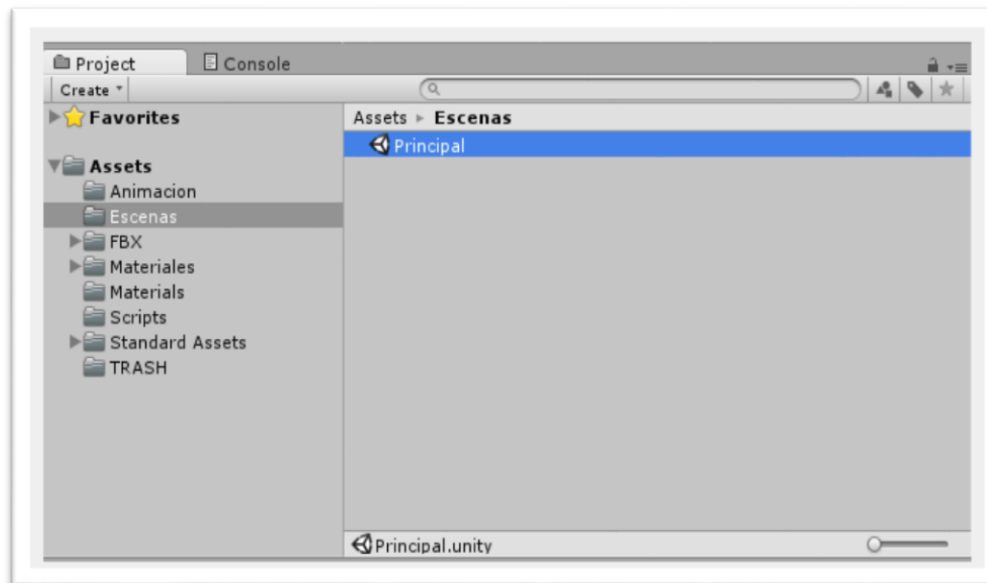


Figura 7. Unity v.4.6, Panel Project.

Fuente: Propia.

2.7.2.5. El panel Inspector

Para poder acceder a este panel es necesario seleccionar un objeto, de esta manera este panel se activa y nos muestra las propiedades del objeto seleccionado, divididas por secciones, cada vez que se proceda a agregar nuevas funciones a un objeto, se añadirán a este panel y mediante este panel si es el caso.

Este panel también nos permite, manipular variables que se encuentren publicas dentro del código de programación, directamente, siempre y cuando la

programación nos permita editar estos valores, este punto es muy importante ya que, en el desarrollo del simulador, permitió la corrección de errores en el momento de la ejecución.

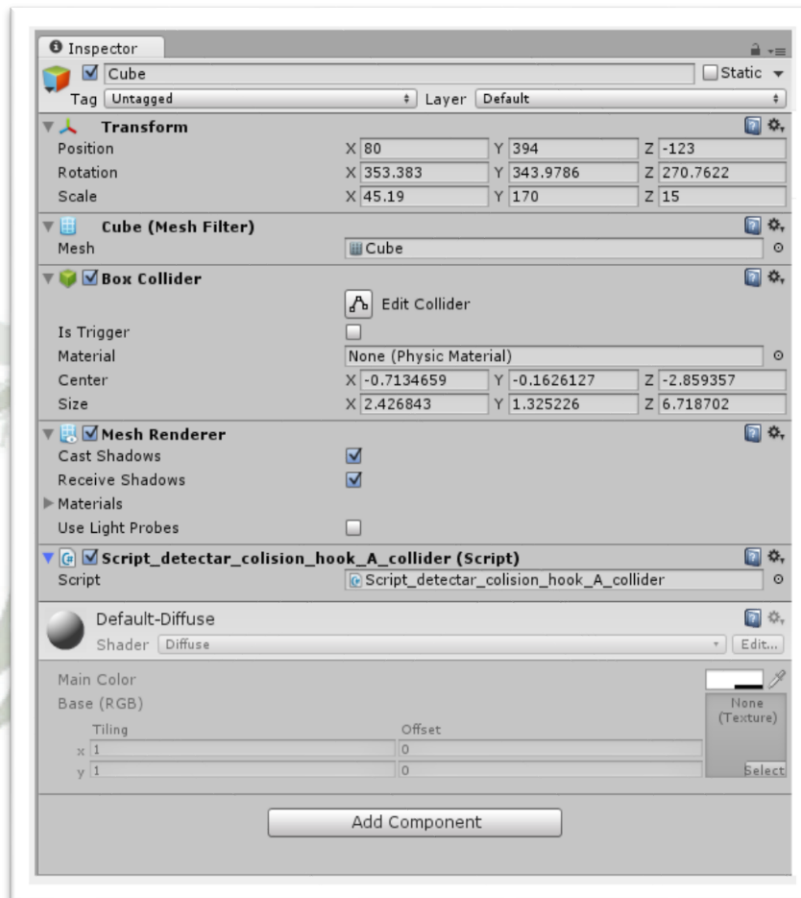


Figura 8. Unity v.4.6, Panel Inspector.

Fuente: Propia.

2.8. MonoDevelop

Es el ambiente de desarrollo integrado (IDE) que utiliza Unity, es de uso libre y gratuito, además está diseñado para lenguajes de programación como son C#, Java.

Los scripts se pueden depurar y ejecutar en este ambiente, esto es un paso obligatorio anterior a asignarlos a algún elemento de Unity, dado que, si hay algún error en la ejecución del programa, el panel game nos indicara que es requerido arreglar este error para poder proceder con la ejecución del proyecto.

La versión que empleada es la 4.0.1. ^[10], en la Figura 9 se observa el espacio de trabajo del IDE que se empleo.

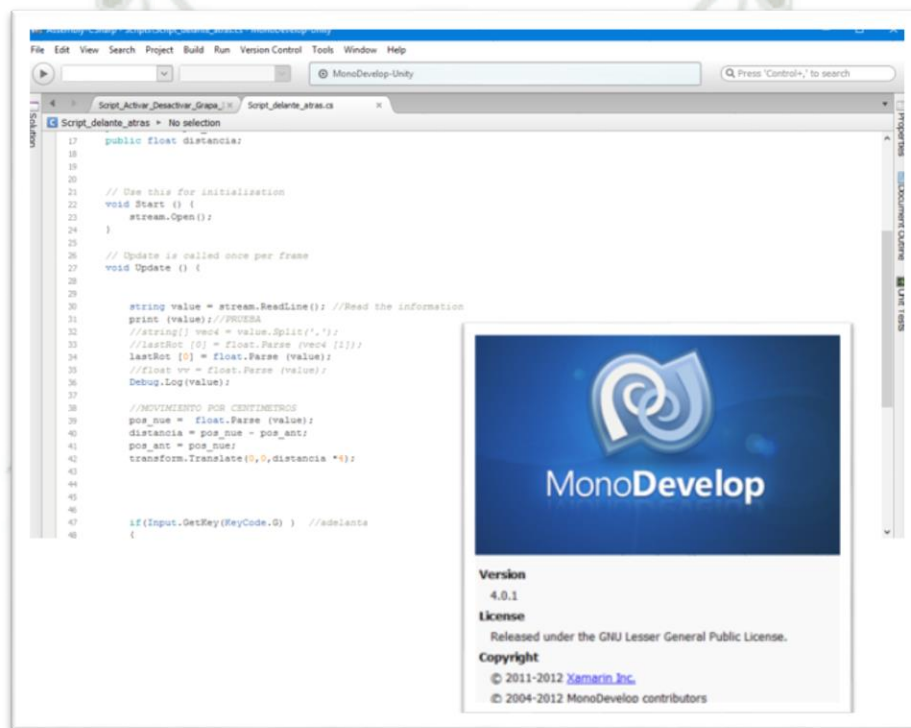


Figura 9. MonoDevelop espacio de trabajo utilizado del IDE.

Fuente: Propia.

2.9. Blender

Blender es lanzado bajo GNU General Public License (GLP, o “software libre”).

Esta licencia permite a los usuarios una serie de libertades:

- Usar el software para cualquier propósito.
- La libre distribución de Blender.
- Se puede estudiar el funcionamiento de Blender y modificarlo.
- Se puede distribuir versiones modificadas de Blender.

Este software nos indica expresamente que todo lo creado con él es de exclusiva propiedad del usuario y que un usuario es libre de usar los archivos generados a conveniencia.^[11]

Sin embargo, Blender no solo se eligió para el presente proyecto por sus bondades en cuanto a las libertades que proporciona, los puntos importantes de Blender son [11]:

- El motor de renderizado.
- Variedad de herramientas de modelado.
- Modelado poligonal.
- Mapeo de mallas (UV Unwrapping).
- Texturizado.
- Herramientas de animación.
- NLA editor (Non-Linear Action).
- Herramientas de Keyframes (cuadros clave).
- Armatures basados en bones.
- Exportación de archivos a diferentes formatos de archivo (3ds, fbx, collada).

- Herramientas de suavizado.
- Trabajo por capas.
- Interface flexible.

La versión elegida como soporte del presente proyecto es la 2.77, por ser una versión estable, que ha demostrado ser útil para el proyecto, por su rendimiento y su interfaz manejable como se puede observar en la Figura 10, Blender nos permite el manejo de pantallas múltiples, de un mismo elemento para poder manipular animaciones, renderizados, unwapping, capas, etc.

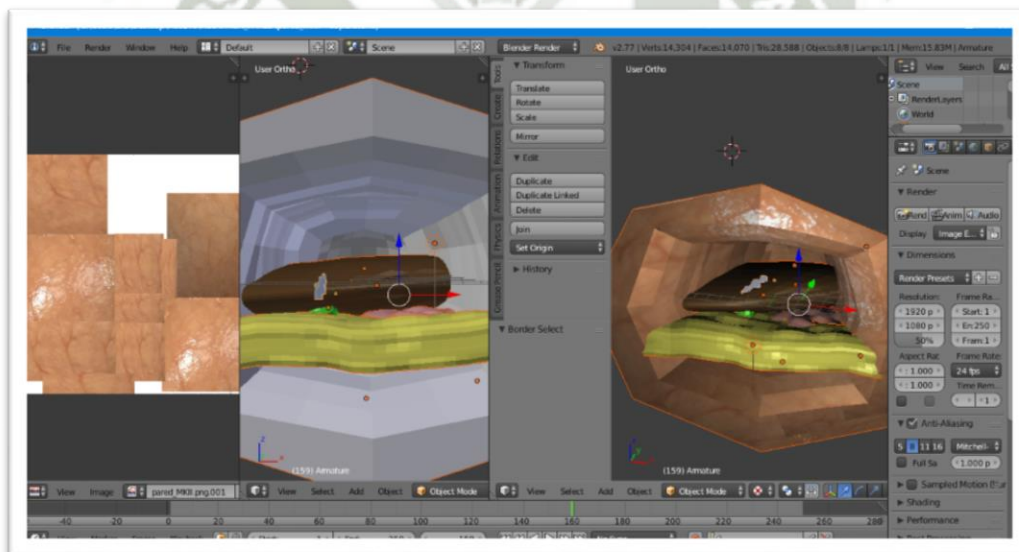


Figura 10. Tableros de trabajo de Blender v2.77.

Fuente: Propia.

2.10. Arduino

Actualmente el hardware libre Arduino, se ha extendido ampliamente y con gran aceptación entre estudiantes y aficionados a la electrónica, ya sea para aplicar su

potencial en proyectos de ocio como académicos e incluso con uso científico. Una de las ventajas en el uso de Arduino es que la comunidad en código abierto referido a este hardware ha crecido, el conocimiento compartido en referencia a los códigos en Arduino parece no acabar, por otro lado, ya que el hardware de Arduino es abierto o también llamado open hardware, muchos clones y prototipos similares se han creado, permitiendo una explosiva expansión entre distintos usuarios, se producen también muchos proyectos interesantes fácilmente adaptables a necesidades experimentales.

Es importante también destacar que las diversas placas de Arduino en el mercado, tienen un precio muy accesible en promedio por debajo de los diez dólares americanos, esto lo convierte en una alternativa realmente económica de un hardware costoso en comparación a otros autómatas en el mercado, sin embargo debemos destacar que un autómata profesional podría llegar a ser más preciso que un Arduino en cualquiera de sus versiones, por lo que se desprende que Arduino no intenta desplazar placas autómatas profesionales, todo lo contrario, permite ejecutar proyectos aceptables de bajo presupuesto, accesibles y hasta portátiles si vemos el tipo de alimentación usa Arduino. Por todo esto Arduino se convierte en un hardware barato y de fácil acceso, y se puede considerar una herramienta multipropósito.^[12]

Para el presente proyecto utilizamos la placa Arduino UNO.

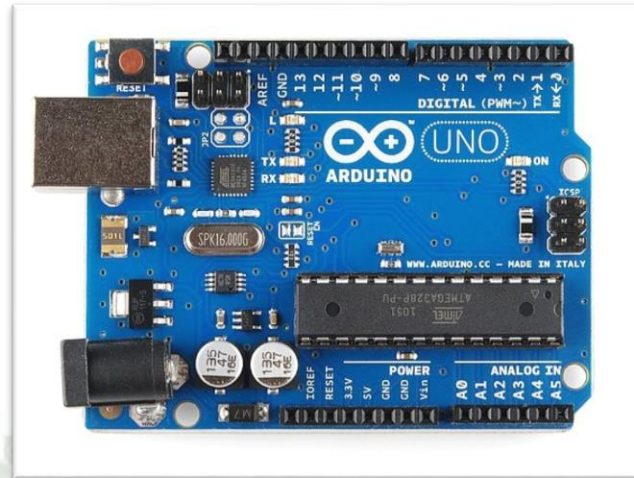


Figura 11. Placa Arduino Uno.

Fuente: <http://www.arduino.org/products/boards/arduino-uno>

La comunicación de entrada de Arduino con el entorno se da mediante sensores los cuales recogen información del medio que lo rodea, dependiendo del tipo de sensor que se emplee para esta tarea.

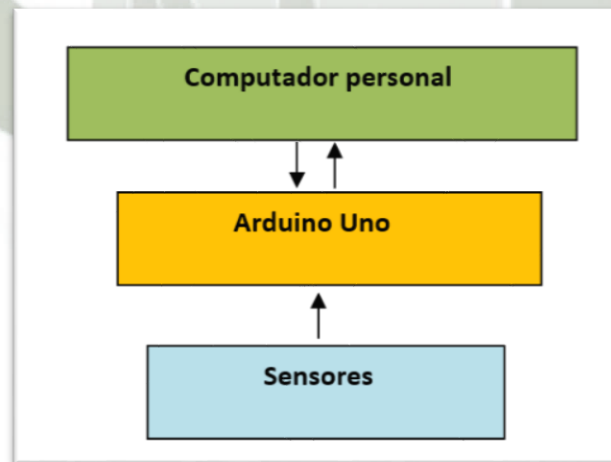


Figura 12. Diagrama de alimentación de información por sensores en Arduino y comunicación con Computador personal.

Fuente: Propia

La tecnología empleada por Arduino se basa en un microcontrolador de la firma Atmel; exactamente el Atmega328P para la placa Arduino Uno, que es con la que trabajamos el proyecto. Este es un microcontrolador sencillo de y bajo coste, el cual permite programar para realizar variados diseños.

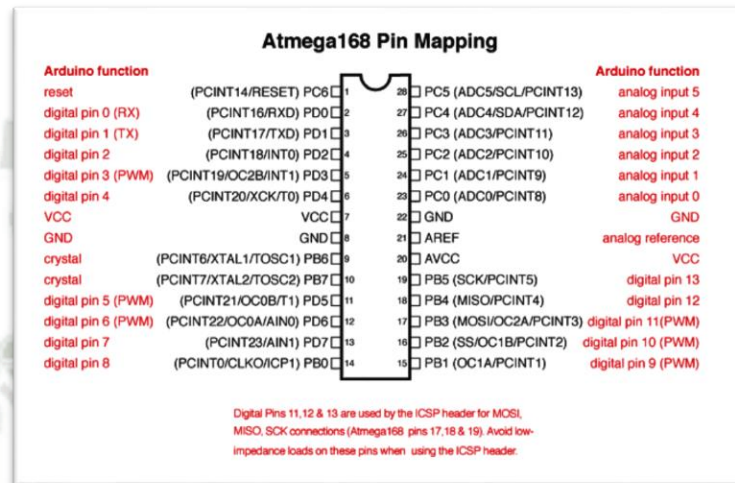


Figura 13. Mapa de pines de Atmega328 en Arduino uno.

Fuente: <https://www.arduino.cc/en/Hacking/PinMapping168>

Como podemos ver en la Figura 13, Arduino provee de un buen número de entradas y salidas, analógicas y digitales, según los sensores y los datos a utilizar se emplearán las diversas entradas y salidas.

2.10.1. Microcontrolador Atmega328p características

Se indicarán las más importantes de este microcontrolador:

- Voltaje de funcionamiento: 5voltios.

- Modelo: 328. Microcontrolador de 8 bits.
- Memoria flash: 32KB.
- Memoria SRAM: 2KB.
- Memoria EEPROM: 1KB.
- Velocidad de procesamiento: 16 MHZ.

2.10.2. Medio integrado de desarrollo de Arduino (IDE)

Este entorno es con el cual se programa sobre Arduino, es un IDE de descarga gratuita, y se puede descargar desde la página oficial de Arduino. Existen versiones de este IDE tanto para Windows, Linux y MAC. Para el presente proyecto se emplea con la placa Arduino Uno (Figura 14) ya que como se detalló con anterioridad existen muchas versiones Arduino.

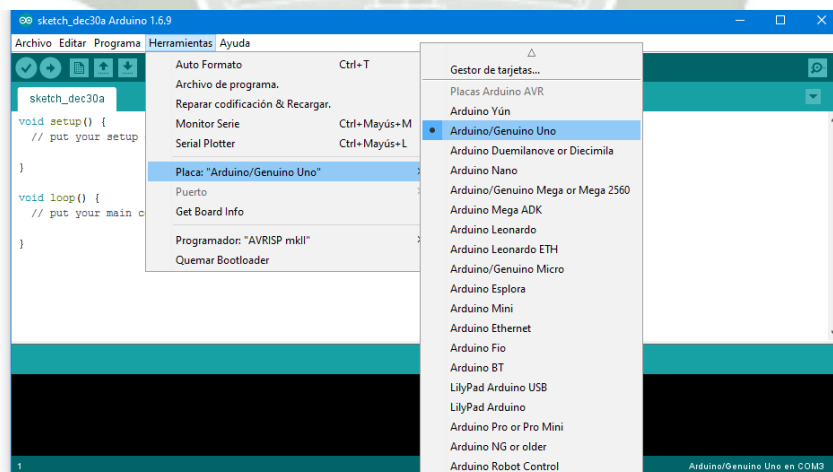


Figura 14. Pantalla de selección de placa a emplear.

Fuente: Propia.

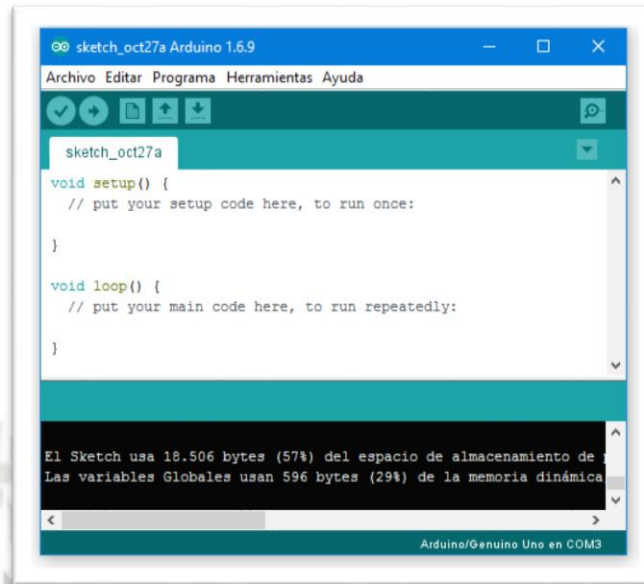


Figura 15. interfaz del IDE de Arduino y métodos por default en sketch nuevo.

Fuente: Propia.

El IDE de Arduino, aun cuando tiene una interfaz simple (Figura 15) es muy potente, nos permite el uso de librerías, por defecto, así como personalizadas, también permite la configuración de diversas plataformas Arduino, dispone de selección de puertos por los cuales se comunicará con la PC, y como cualquier otro IDE de programación tiene la función de depuración, es mediante este IDE que podremos cargar los códigos de programación también llamados Sketch en Arduino, y por ultimo pero no menos importante tenemos la opción de abrir un monitor en serie (Figura 16), este monitor permite visualizar el valor que toman las variables mediante los sensores, y también nos permite comunicarnos con la placa Arduino, por supuesto previa programación y carga de código en la placa.

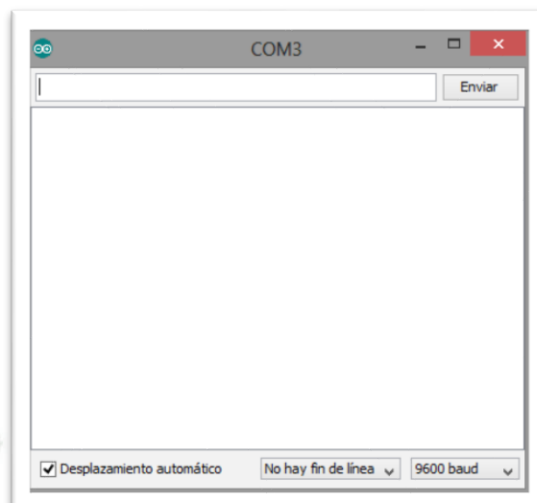


Figura 16. Monitor serie del IDE de Arduino.

Fuente: Propia.

2.10.3. Modelos de placas Arduino

Existen muchas placas Arduino, pero por propósitos prácticos solo presentamos cinco muy usadas y representativas.

A. Arduino Uno:

- Microcontrolador Atmel.
- Modelo: 328P de 8 Bits.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje alimentación externa: de 7 a 12 voltios.
- Numero de Pines digitales: 14.
- Numero de Pines analógicos: 6.

- Memoria flash: 32KB.
- Memoria SRAM: 2KB.
- Memoria EEPROM: 1KB.
- Velocidad de proceso: 16Mhz.

B. Arduino Leonardo

- Microcontrolador Atmel.
- Modelo: Atmega32u4 de 8 Bits.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Numero de Pines digitales: 20.
- Numero de Pines analógicos: 12.
- Memoria flash: 32KB.
- Memoria SRAM: 2.5KB.
- Memoria EEPROM: 1KB.
- Velocidad de proceso: 16Mhz.

C. Arduino DUE

- Microcontrolador Atmel.
- Modelo: AT91SAM3X8E de 32 Bits.
- Voltaje de funcionamiento: 3.3V.
- Voltaje alimentación externa: de 7 a 12 voltios.

- Numero de Pines digitales: 54.
- Numero de Pies analógicos: 12.
- Memoria flash: 512KB.
- Memoria SRAM: 96KB.
- Velocidad de proceso: 84Mhz.

D. Arduino Mega2560

- Microcontrolador Atmel.
- Modelo: Atmega2560de 8 Bits.
- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje alimentación externa: de 7 a 12 voltios.
- Numero de Pines digitales: 54.
- Numero de Pies analógicos: 16.
- Memoria flash: 256B.
- Memoria SRAM: 8KB.
- Memoria EEPROM: 4KB.
- Velocidad de proceso: 16Mhz.

E. Arduino Micro

- Microcontrolador Atmel.
- Modelo: Atmega32u4 de 8 Bits.

- Voltaje de funcionamiento: 5V.
- Voltaje alimentación externa: de 7 a 12 voltios.
- Numero de Pines digitales: 20.
- Numero de Pines analógicos: 12.
- Memoria flash: 32KB.
- Memoria SRAM: 2.5KB.
- Memoria EEPROM: 1KB.
- Velocidad de proceso: 16Mhz.

2.11. Cirugía laparoscópica

La cirugía Laparoscópica o mínimamente invasiva, son procedimientos especializados para realizar intervenciones quirúrgicas, en los últimos años esta técnica se ha ampliado, así como su aceptación.

La cirugía Laparoscópica solo requiere la realización de incisiones de 0.5 a 1cm, estas incisiones son llamadas también “Puertos” y en cada uno de estos se encuentran insertados trocares (Figura 17).



Figura 17. Trocares de Cirugía laparoscópica.

Fuente: http://www.innovamedica.com/Products_MinimalInvasiveSurgery.aspx?Lang=ENG.



Figura 18. Trocar insertado en paciente.

Fuente: <http://www.laparoscopica.es/instrumentos/trocar>

Estos trocares son los caminos por donde ingresan las pinzas laparoscópicas a través de la piel (Figura 18) y también diversos instrumentos que lleguen a ser necesarios, en una cirugía, mínimamente invasiva.

Otros elementos importantes en una cirugía laparoscópica son las pinzas laparoscópicas, estas pinzas son el nexo entre los órganos a intervenir en la cirugía y las manos del médico cirujano (Figura 19).



Figura 19. Cirujano realizando una intervención laparoscópica.

Fuente: <http://www.firmhospitals.com/laprosopic-center/>

Hay muchas variedades de pinzas laparoscópicas, esto se da porque depende directamente de la intervención que se requiera realizar (Figura 20).



Figura 20. Pinza laparoscópica.

Fuente: http://www.innovamedica.com/Products_MinimalInvasiveSurgery.aspx

2.12. Técnica quirúrgica colecistectomía laparoscópica

Este procedimiento quirúrgico consiste en la extracción de la Vesícula Biliar, por medio de una intervención laparoscópica mínimamente invasiva, se procede con extirpar la vesícula Biliar cuando se presenta una colecistitis aguda (Inflamación de la vesícula biliar) este cuadro clínico, produce dolor abdominal intenso, vómitos, indigestión, en algunos casos se obstruye la salida normal de la bilis de la vesícula por presencia de cálculos.

2.12.1. Vesícula biliar

La vesícula biliar es un órgano en forma de pera de un tamaño aproximado de 5cm – 7cm de diámetro, que se ubica debajo del lado derecho del hígado, cuya función primordial es la concentración de bilis, movilización de bilis y su respectiva producción.

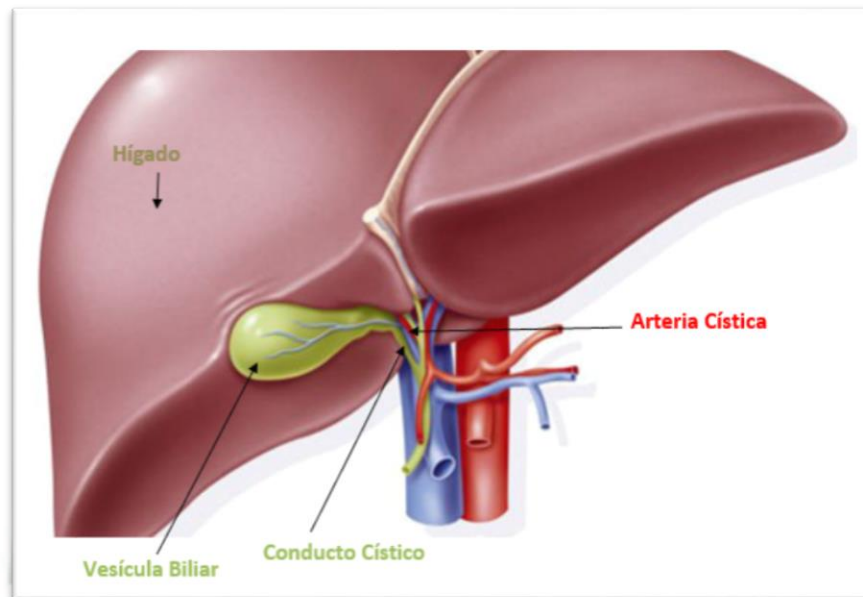


Figura 21. Hígado, Vesícula Biliar, Conducto Cístico, Arteria Cística.

Fuente: Propia.

2.12.2. Pasos de la técnica laparoscópica

Primero se levanta la vesícula biliar junto con el hígado, ya que la vesícula biliar se encuentra adherida al hígado. (Figura 22).

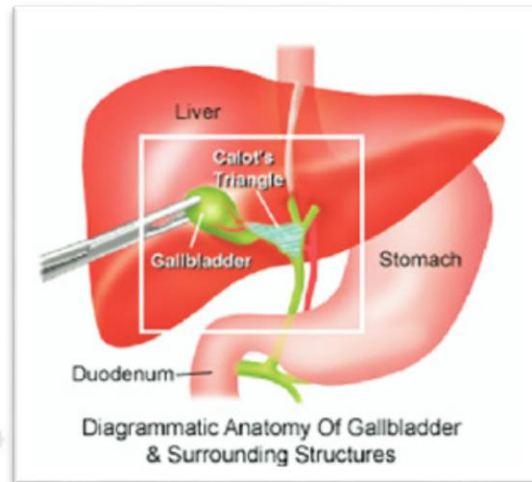


Figura 22. Levantamiento Hígado, y Vesícula Biliar.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/6425614_fig2_Figure-2-A-laparoscopic-cholecystectomy-with-intraoperative-cholangiogram-Reprinted

Luego se procede con despegar la vesícula Biliar del hígado, mientras se despega del hígado se va dejando al descubierto el conducto cístico y la arteria cística. (Figura 23).

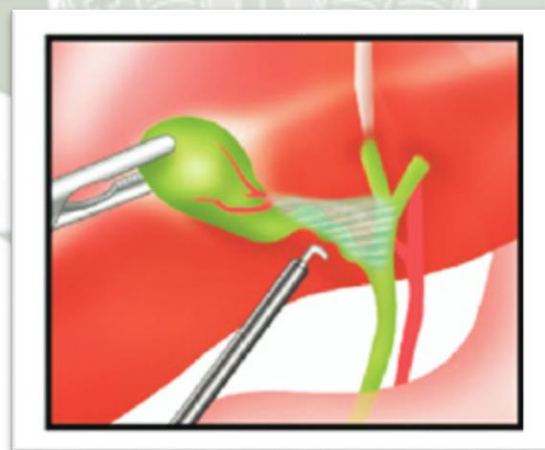


Figura 23. desprendiendo vesícula biliar del hígado y dejando al descubierto el conducto cístico y la arteria cística.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/6425614_fig2_Figure-2-A-laparoscopic-cholecystectomy-with-intraoperative-cholangiogram-Reprinted

Se procede con grapar el conducto cístico y grapar la arteria cística, para posteriormente cortar el conducto cístico y la arteria cística. (Figura 24).

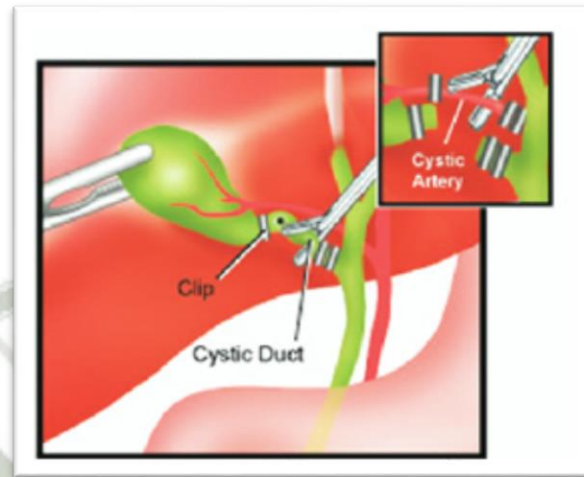


Figura 24. Grapado y separación de conducto cístico y arteria biliar.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/6425614_fig2_Figure-2-A-laparoscopic-cholecystectomy-with-intraoperative-cholangiogram-Reprinted

Una vez culminado el paso anterior se procede con la extracción de la vesícula Biliar del área abdominal (Figura 25).



Figura 25. extracción de vesícula biliar y fin del procedimiento.

Fuente: https://www.researchgate.net/figure/6425614_fig2_Figure-2-A-laparoscopic-cholecystectomy-with-intraoperative-cholangiogram-Reprinted

CAPITULO 3 - IMPLEMENTACIÓN DE LA PROPUESTA

3.1. Descripción de la propuesta

Con el objetivo de brindar una alternativa de simulador laparoscópico de bajo coste para complementar el entrenamiento medico tanto de estudiantes de medicina, médicos residentes y médicos especialistas, es que se resuelve desarrollar un prototipo de Simulador laparoscópico con la técnica quirúrgica de colecistectomía laparoscópica.

Por la complejidad que conlleva el proyecto y dado que se requiere interactuar con el medio físico, mediante pinzas laparoscópicas para brindar una sensación inmersiva y realista, es que se optó por la placa Arduino UNO R3, la cual tiene el número adecuado de entradas y salidas tanto análogas como digitales para el proyecto, además permite conectividad de sensores para interactuar con el ambiente.

Para llevar a cabo el proyecto, se estableció que la plataforma base seria Unity, ya que brinda un equilibrio perfecto entre rendimiento y versatilidad, también porque esta plataforma permite exportar ejecutables a diferentes sistemas operativos, como Android, IOS, Linux lo que permitiría flexibilidad en el proyecto para futuros trabajos.

3.2. Desarrollo de modelo 3D

Para el presente prototipo se requirió de diversos modelos 3D, estos modelos fueron realizados de acuerdo a las proporciones de órganos abdominales, se realizaron los órganos que se emplearían en el presente escenario laparoscópico.

El software por el que se optó para desarrollar los modelos 3D, es Blender versión 2.77.

A continuación, se presentan los modelos creados.

3.2.1. Modelo hígado

En un primer paso se bosquejo el hígado (Figura 26)

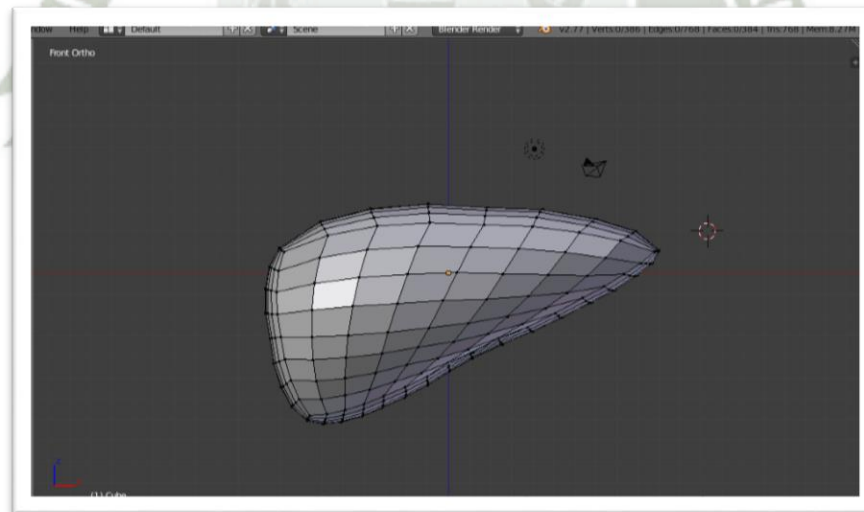


Figura 26. Imagen frontal de enmallado – Hígado.

Fuente: Elaboración propia.

Ya que se requiere cierta precisión en la creación de los modelos es que se precisó de la evolución en los modelos, el modelo presentado en la Figura 26 es un bosquejo inicial, y que se muestra como indicador de la evolución del proyecto.

Dado que son requeridas precisiones anatómicas, es que el modelo evoluciona, Figura 27.

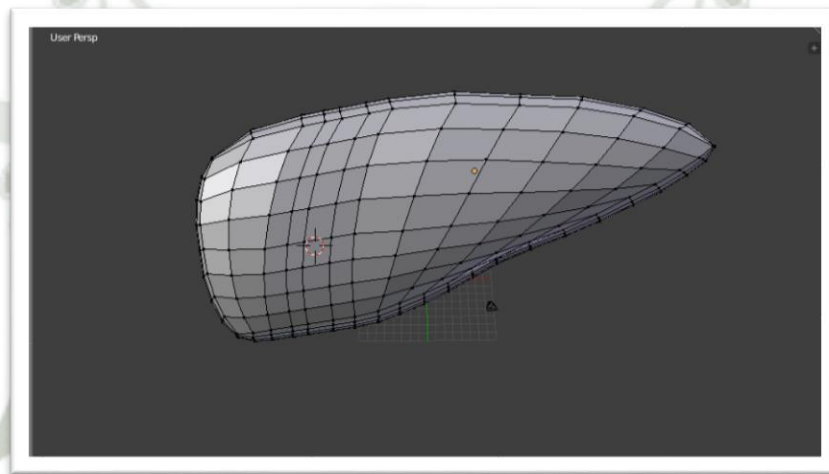


Figura 27. Imagen frontal de enmallado se incluyen mejoras anatómicas – Hígado.

Fuente: Elaboración propia.

Versión final de hígado (Figura 28), la precisión anatómica es más detallada, sin embargo, al momento de ser exportado en Unity se podrá visualizar con ligeros cambios ya que Unity no es un editor de imágenes 3D. estos cambios podrán ser evidenciados en imágenes posteriores.

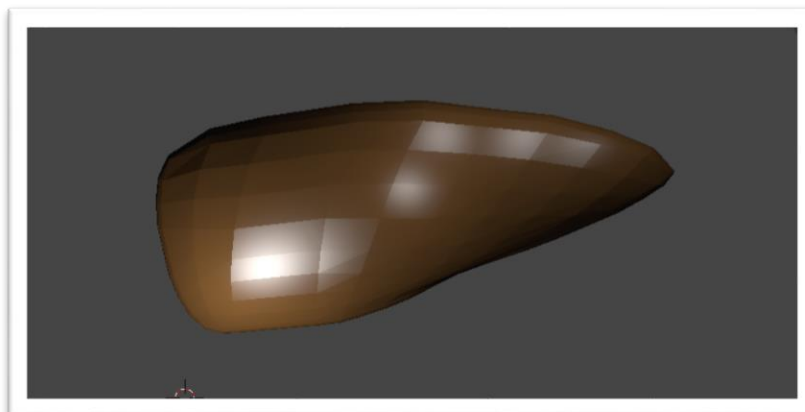


Figura 28. Modelado final de Hígado, vista frontal.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.2. Modelo vesícula biliar – vía biliar

Siguiendo con la presentación de modelos se presenta el bosquejo inicial de la vesícula biliar y de la vía biliar, en su enmallado básico, se puede notar que los polígonos que lo componen son pocos (Figura 29).

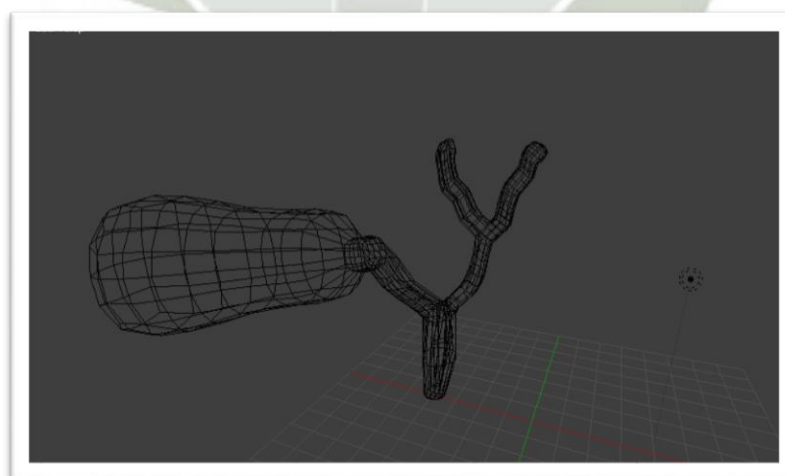


Figura 29. Versión inicial Vesícula – Vía biliar.

Fuente: Elaboración propia.

Continuando con la evolución de la primera versión se consideró, el aumento de polígonos y de exactitud anatómica, en la (Figura 30) se puede visualizar la evolución del primer modelo en su renderizado y texturizado básico.

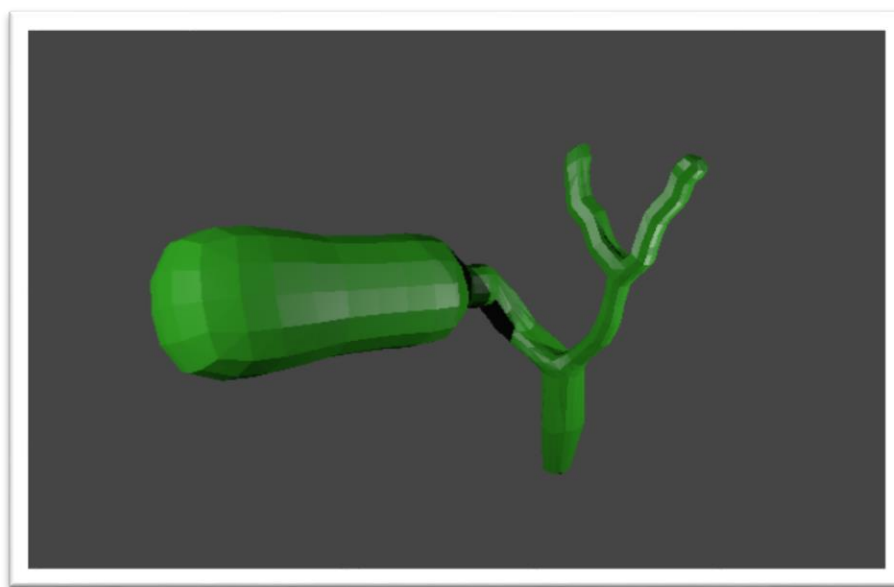


Figura 30. Modelo de vesícula – vía biliar.

Fuente: Elaboración propia.

Se perfeccionó la vesícula biliar conjuntamente con la vía biliar, se texturizó para un mejor acabado, también se tomó en consideración el aumento de polígonos. En la imagen siguiente se ve el entregable final (Figura 31).

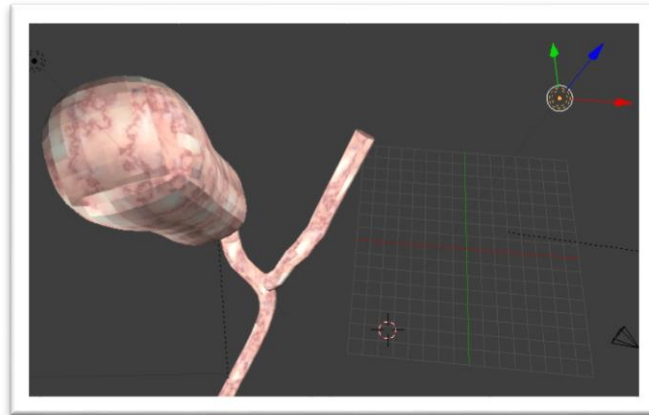


Figura 31. Vesícula Biliar y Vía biliar.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Modelo arteria cística

Ya que se contaba con mayor experiencia en el modelado de partes anatómicas, es que el primer modelo realizado de la arteria cística no sufre muchos cambios en el entregable final del proyecto, sin embargo, siempre se reconsidera el número de polígonos usados desde la primera versión a la versión final. (Figura 32).

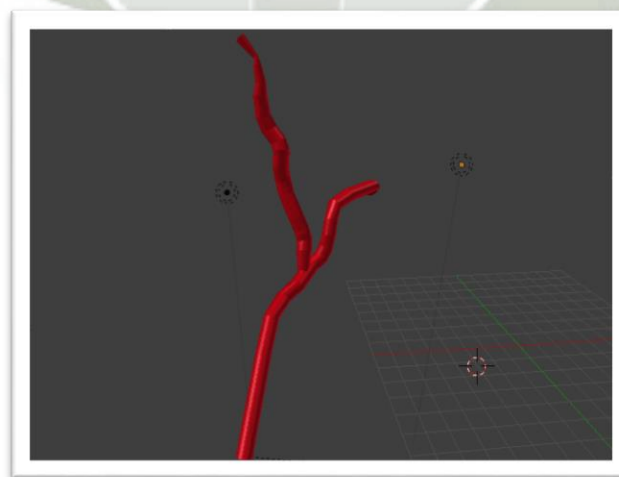


Figura 32. Arteria cística primera versión anatómica.

Fuente: Elaboración propia.

Visualización del entregable final de arteria cística (Figura 33).

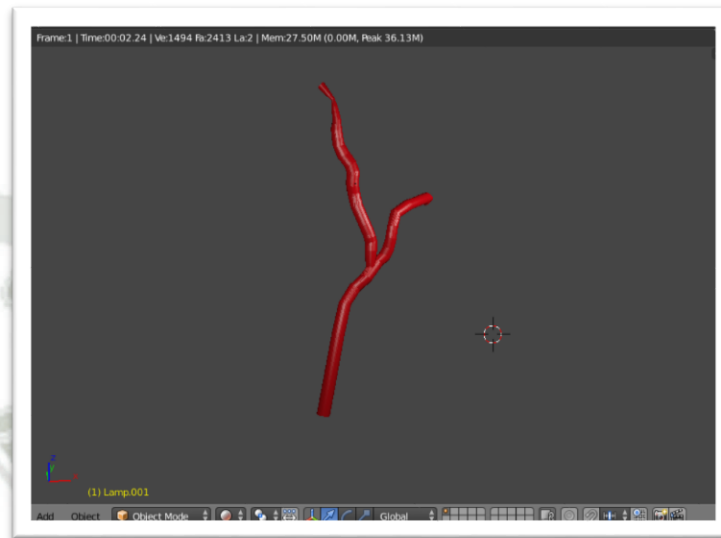


Figura 33. Arteria cística modelo final.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.4. Grasa superior estomago – estomago

Se requiere la creación de una figura semi-plana con irregularidades superficiales para simular la grasa que se encuentra entre el estómago y el hígado, esta grasa según imágenes obtenidas al observar videos y documentación de colecistectomías laparoscópicas es de un color amarillo intenso (Figura 34), y cubre la mayor parte del estómago por lo que al momento de usar una cámara laparoscópica solo se logre visualizar un espacio amarillo y en pocas ocasiones el estómago o intestinos involucrados, sin embargo más adelante se incluyó el

modelo de estómago, el cual solo requiere de un espacio de color rosáceo que sobresale tenuemente sobre la grasa, esto se apreciara mejor en el modelo final con todas las partes integradas(Figura 35).

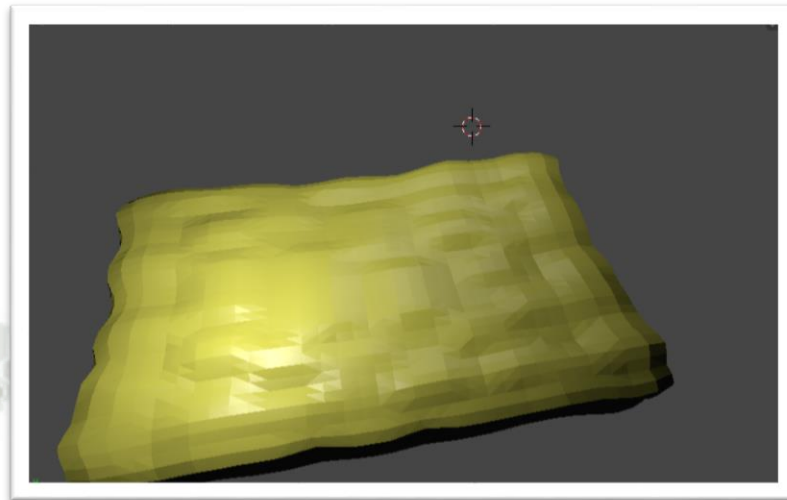


Figura 34. Grasa superior de estómago.

Fuente: Elaboración propia.

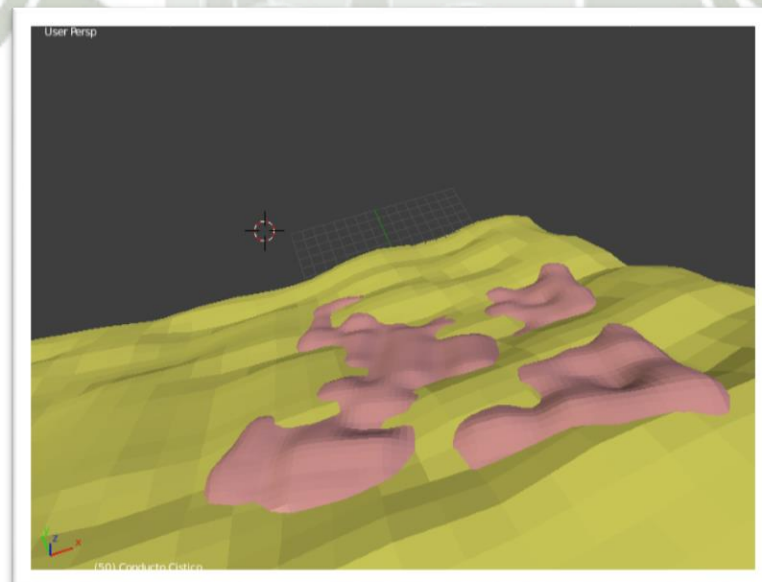


Figura 35. Estomago a través de la grasa.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.5. Pinzas laparoscópicas

Para el prototipo se requiere la creación de modelado de pinzas laparoscópicas, estos modelos tienen gran importancia en el prototipo ya que mediante estos se va a interactuar con la simulación.

Se requieren dos modelos básicos en el prototipo, estos son:

- Pinza Grasper.
- Pinza Hook.

3.2.6. Pinza grasper

Es una pinza de agarre o presión, existen en diferentes diseños (Figura 36), consta de una punta articulada, muy similar a unas tenazas, son pinzas de apoyo para casi todos los procedimientos operatorios, ya que sujetan elementos anatómicos en los cuales se realizan los procedimientos quirúrgicos.

Para observar mejor la ejecución del trabajo e interactuar con el ambiente creado es que la pinza grasper generada en el modelado es articulable consta de dos estados cerrada (Figura 37) y abierta (Figura 38) estos estados se ejecutan mediante un pulsador ubicado en la pinza física.



Figura 36. Distintos tipos de Pinza Grasper.

Fuente: <http://www.medicalcanada.es/grasper-lapclinch-reu-5-mm-udad-3251-026-7080>

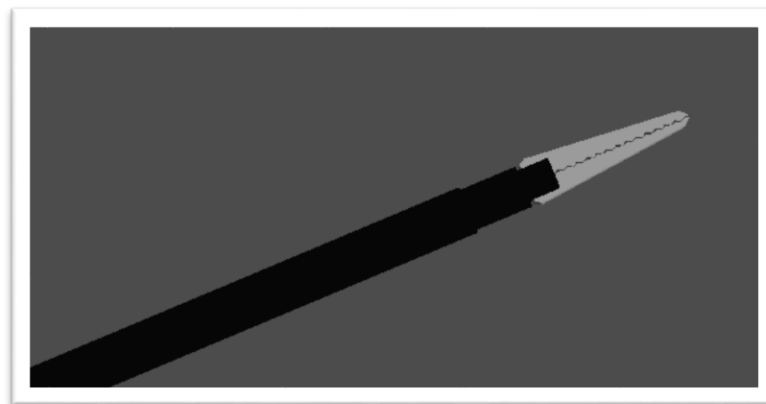


Figura 37. Pinza grasper modelada para el prototipo cerrada.

Fuente: Elaboración Propia.

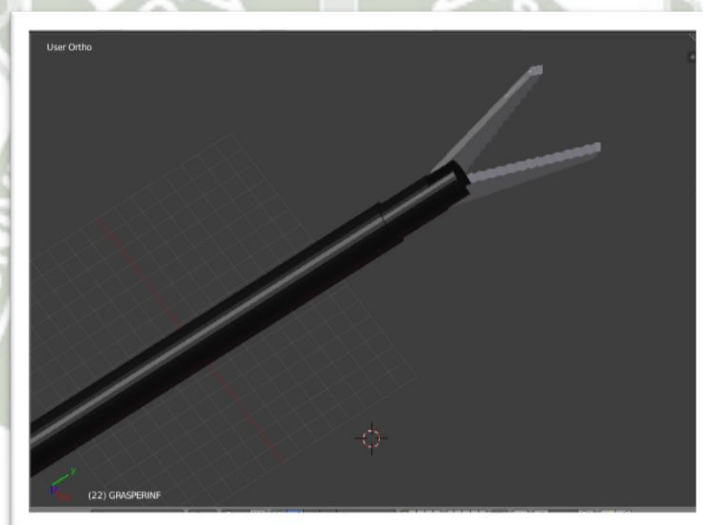


Figura 38. Pinza grasper modelada para el prototipo abierta.

Fuente: Elaboración Propia.

3.2.7. Pinza hook

Es una pinza que sirve para el corte de elementos anatómicos, estas pinzas integran un dispositivo de transmisión de corriente unipolar. Su diseño es de un gancho con un ángulo de 90 grados.



Figura 39. Pinza Hook laparoscópica.

Fuente: <http://www.misdevices.com/productos.html>

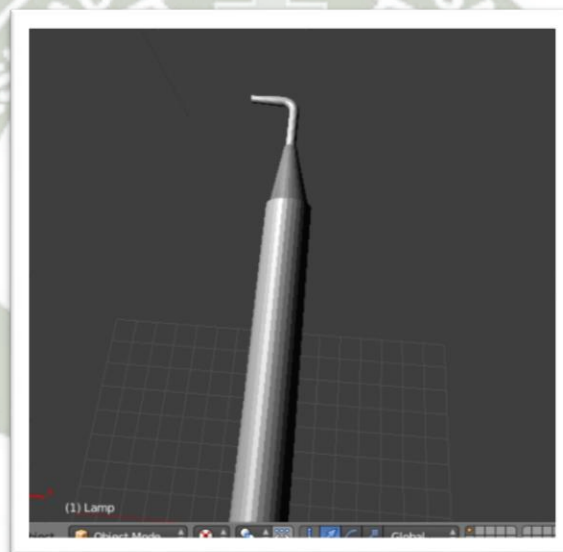


Figura 40. Pinza Hook modelada.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.8. Grapa laparoscópica

En una cirugía laparoscópica, en específico en la técnica quirúrgica de colecistectomía, las grapas laparoscópicas (Figura 41) se utilizan para suturar la

arteria cística y el conducto cístico, estas grapas deben ser localizadas en lugares específicos para que la técnica sea exitosa.

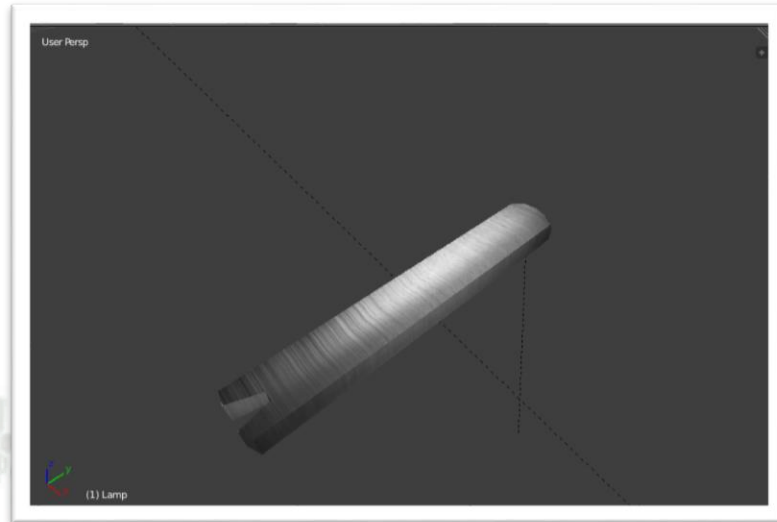


Figura 41. Grapa para sutura de conducto cístico y arteria cística.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.9. Pared abdominal

Todos los elementos 3D antes mencionados, se deben integrar en una cavidad abdominal (Figura 42), la cual tiene la función de dar realismo a la simulación ya que la pared abdominal limita y encapsula los elementos (Figura 43).

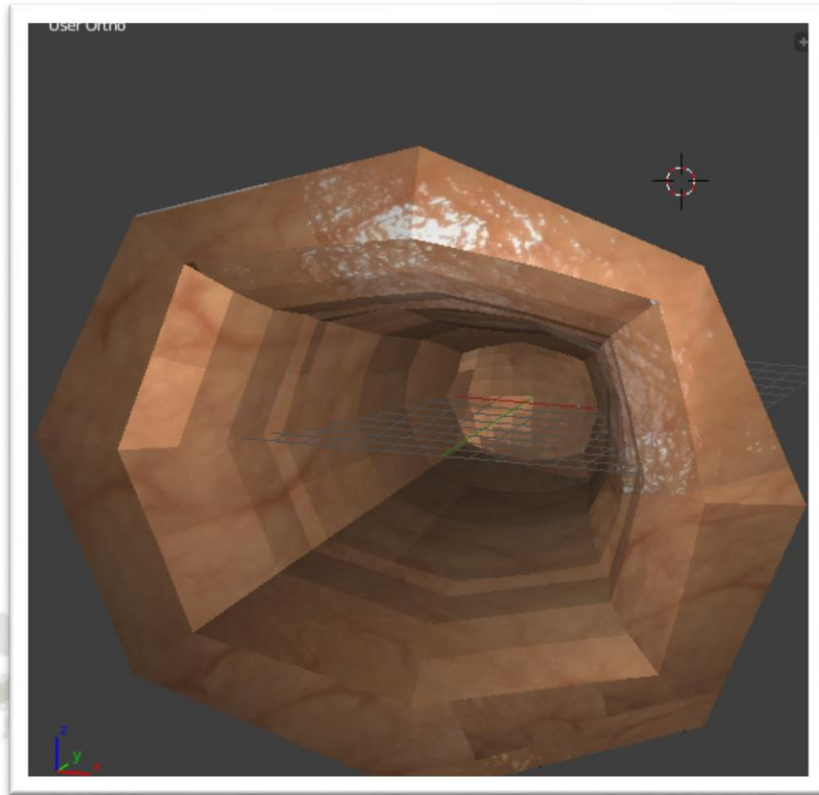


Figura 42. Cavity abdominal.
Fuente: Elaboración propia.



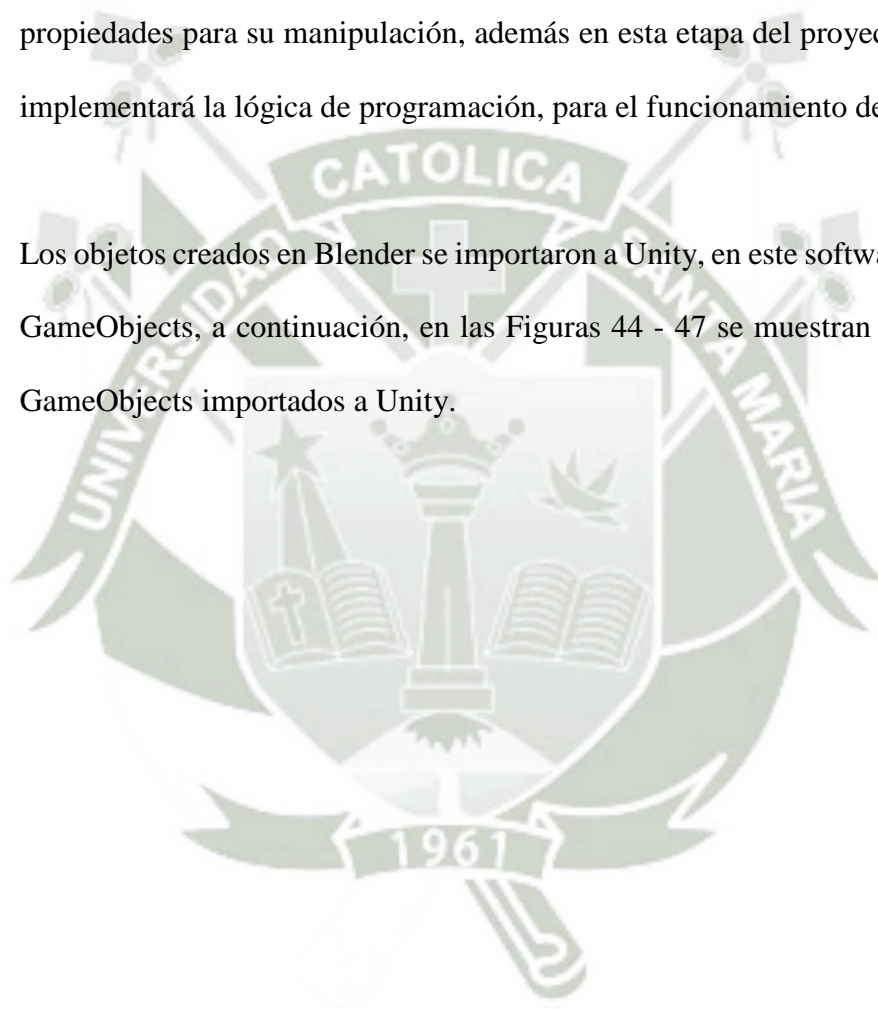
Figura 43. Integración de elementos anatómicos.
Fuente: Elaboración propia.

3.3. Integración en Unity

Para proceder con la integración de los diferentes modelos 3d creados en Blender, y poder interactuar con estos, es que se utiliza el software Unity.

Unity nos va a brindar la posibilidad de usar los elementos modelados, y asignarles propiedades para su manipulación, además en esta etapa del proyecto, también se implementará la lógica de programación, para el funcionamiento del prototipo.

Los objetos creados en Blender se importaron a Unity, en este software se les llama GameObjects, a continuación, en las Figuras 44 - 47 se muestran algunos de los GameObjects importados a Unity.



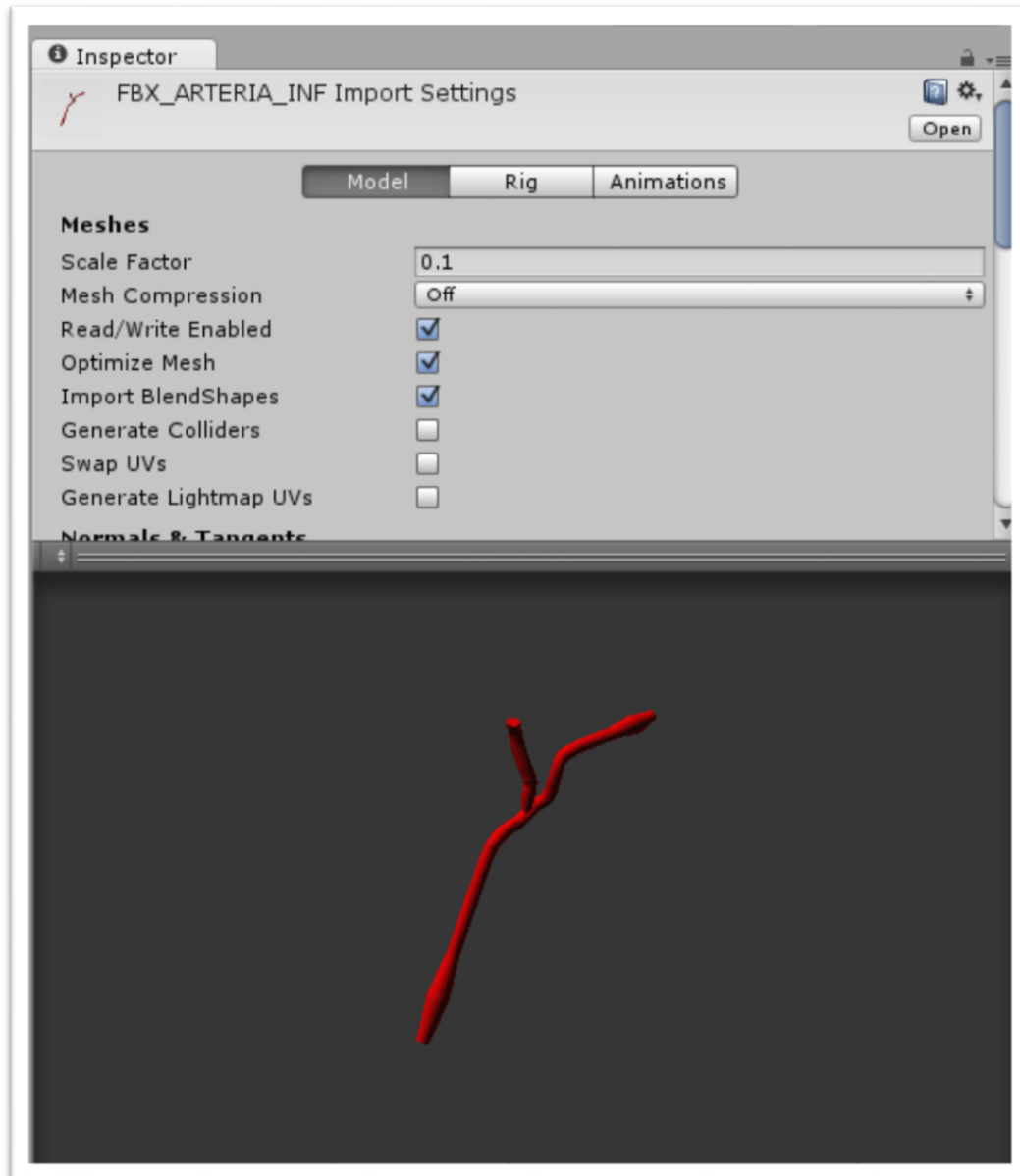


Figura 44. GameObject Arteria Cística.

Fuente: Elaboración propia.

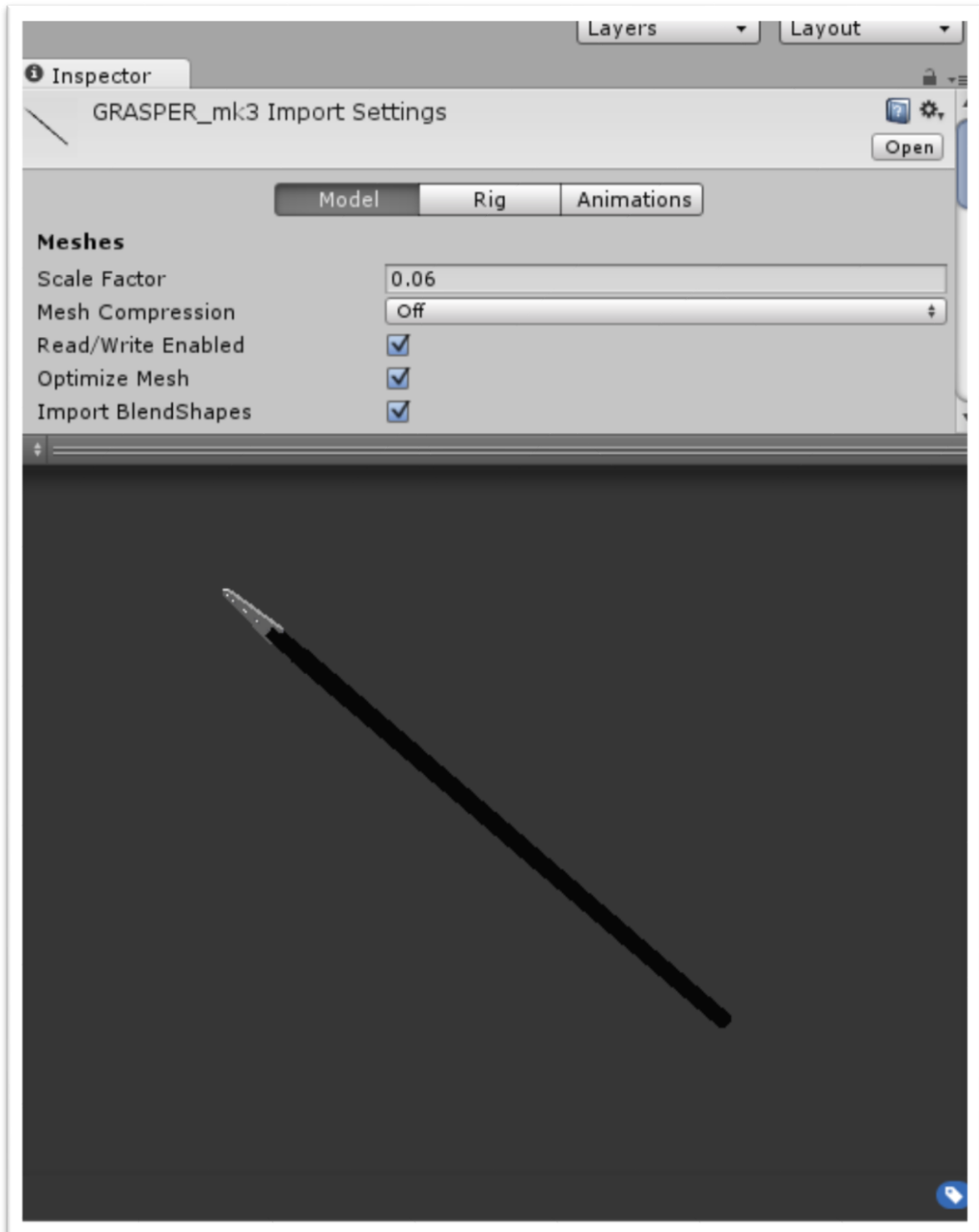


Figura 45. GameObject Pinza Hook.

Fuente: Elaboración propia.

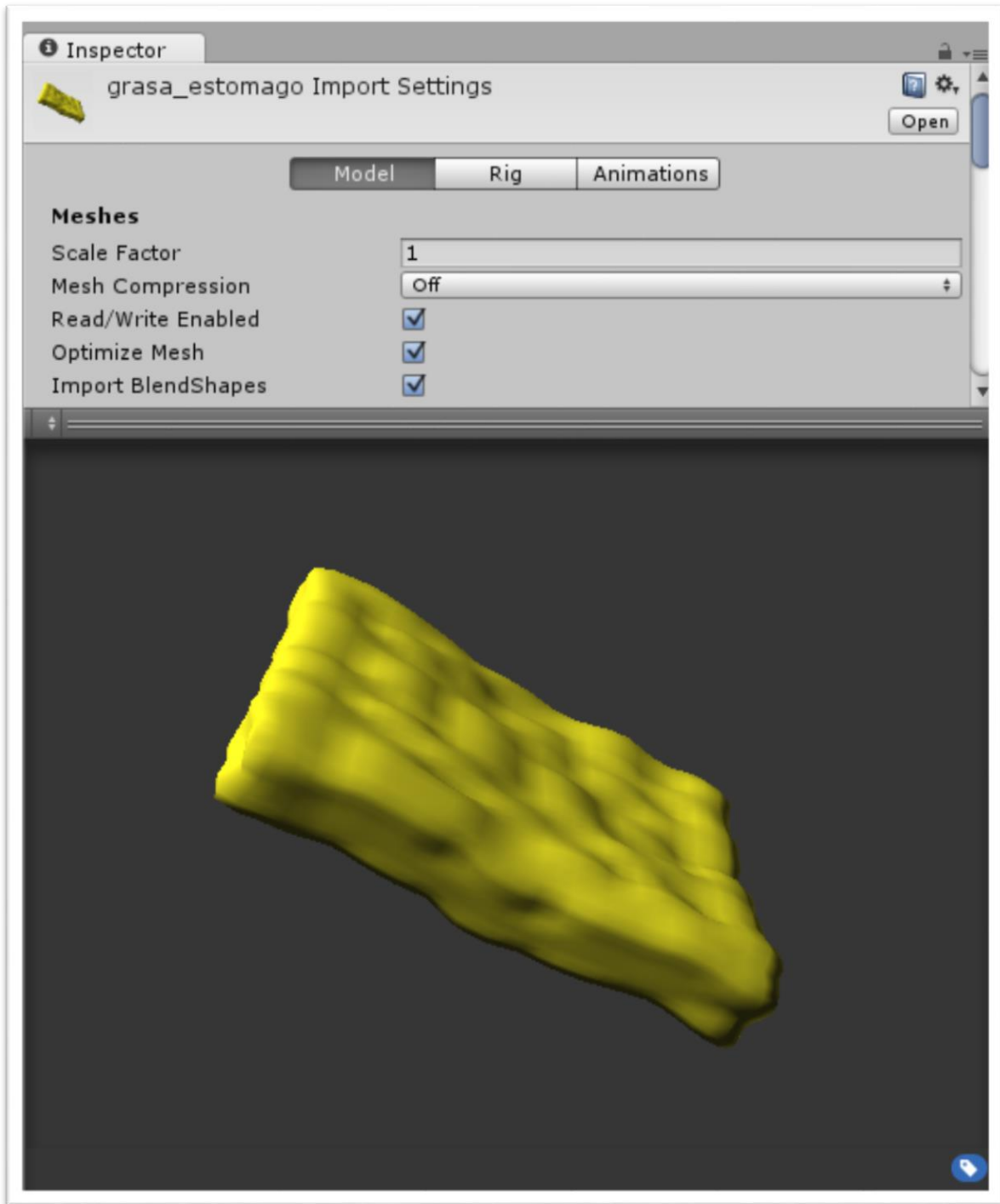


Figura 46. GameObject Grasa superior estómago.

Fuente: Elaboración propia.

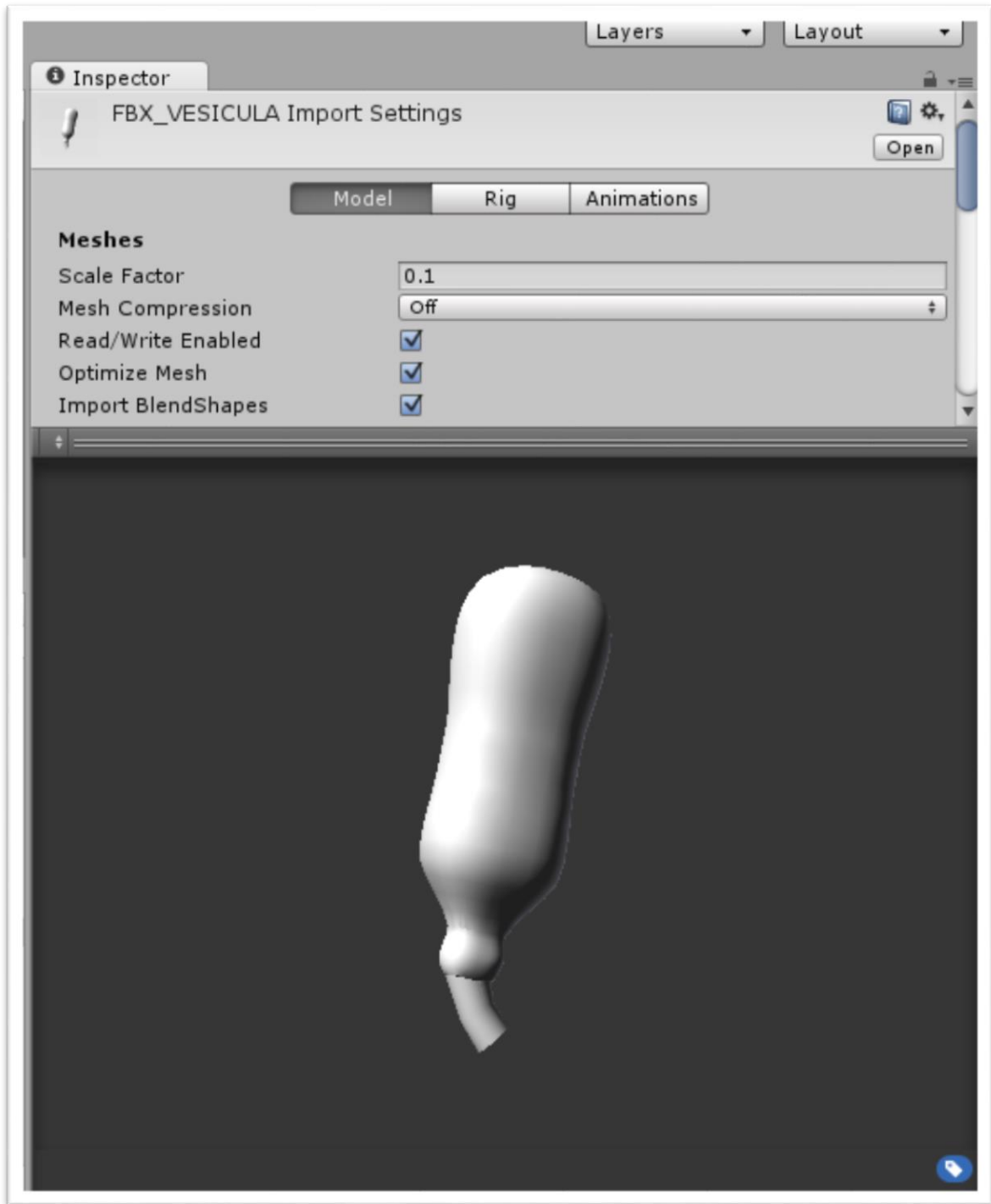


Figura 47. GameObject Vesícula Biliar.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.1. Escena introductoria

Como parte de la introducción al simulador, es que se tuvo en consideración crear un menú de inicio, el cual permite, acceder a la simulación.

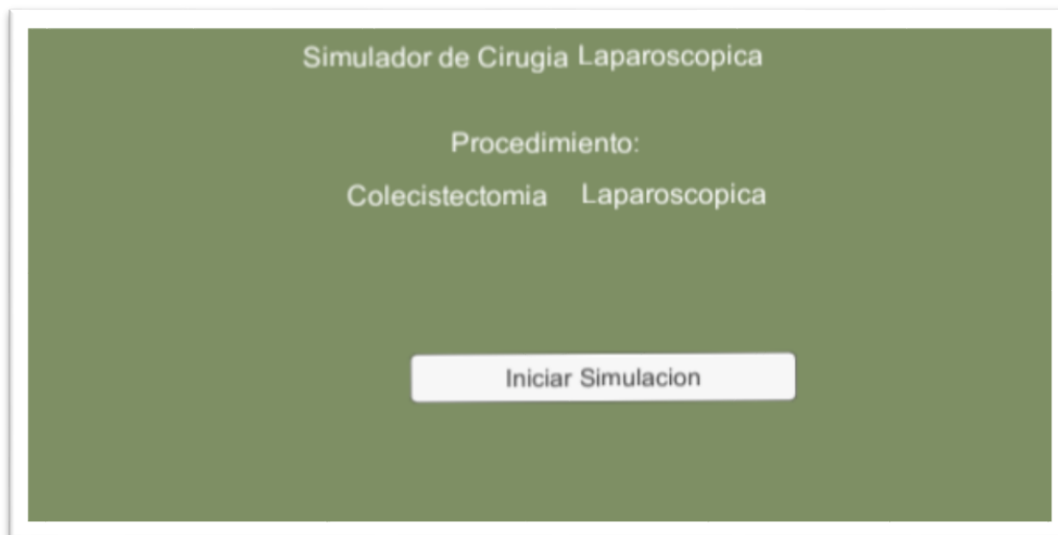


Figura 48. Introducción – Menú principal.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.2. Escenario de simulación

En el escenario de simulación, se ubican los GameObjects, en la Figura 49-51 se logran visualizar las pinzas laparoscópicas, en el ambiente creado, también es posible notar el conducto cístico y la arteria cística, es con estas principalmente donde se va a realizar la simulación quirúrgica.

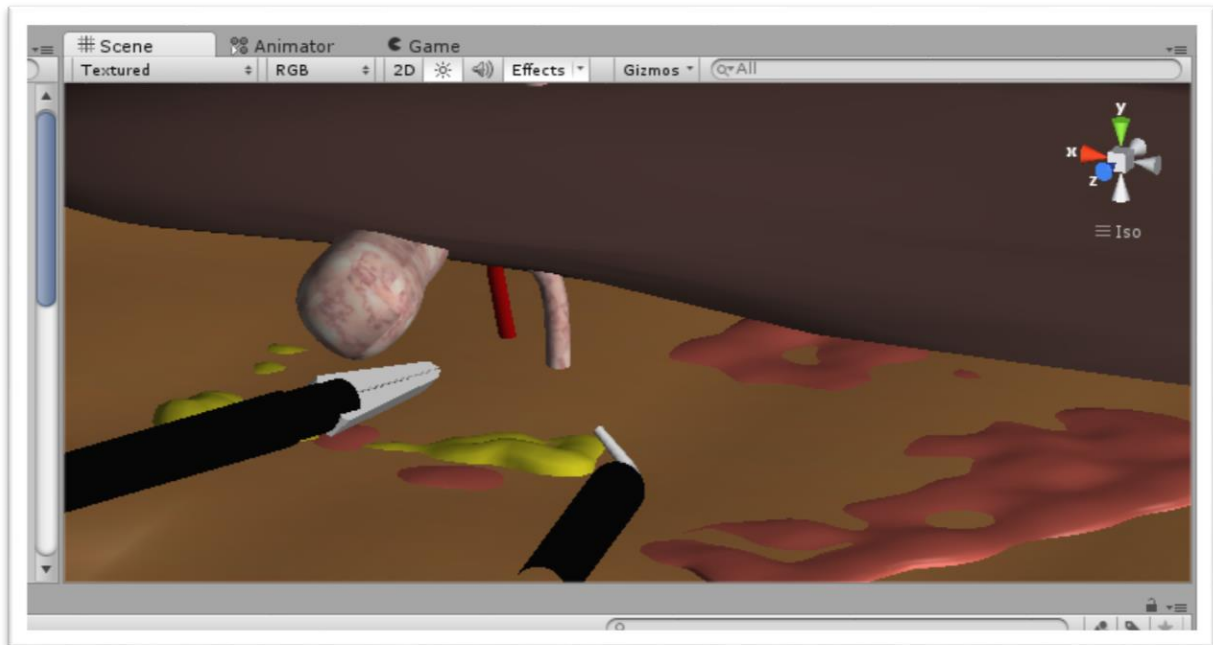


Figura 49. GameObjects en Unity.

Fuente: Elaboración propia.

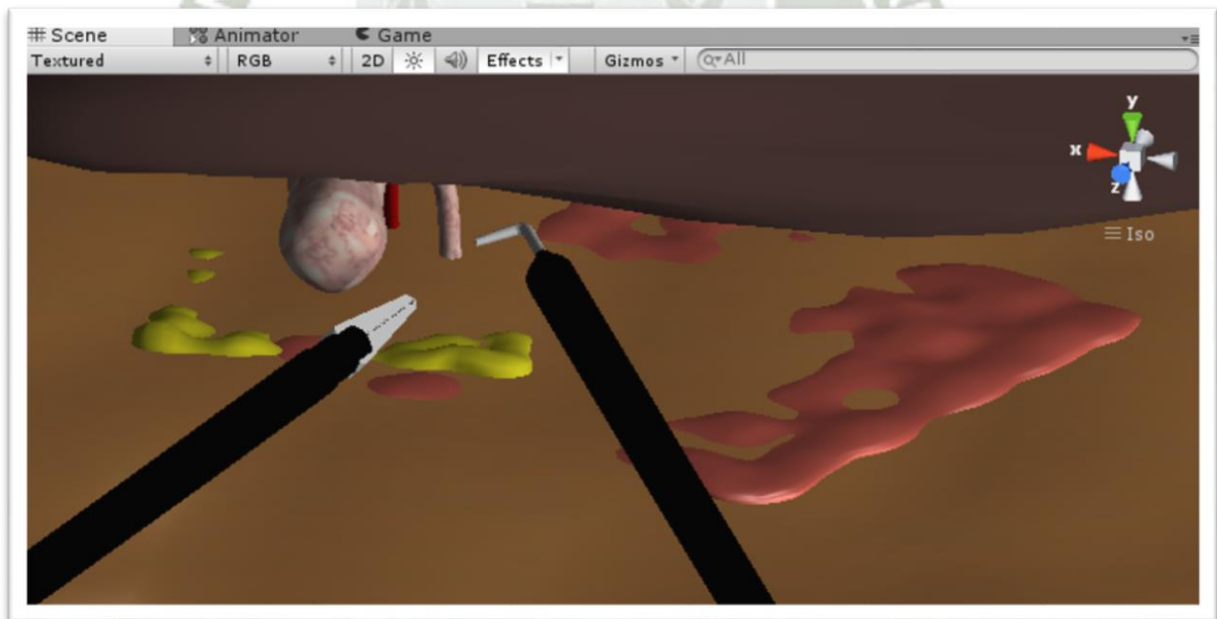


Figura 50. GameObjects en Unity.

Fuente: Elaboración propia.

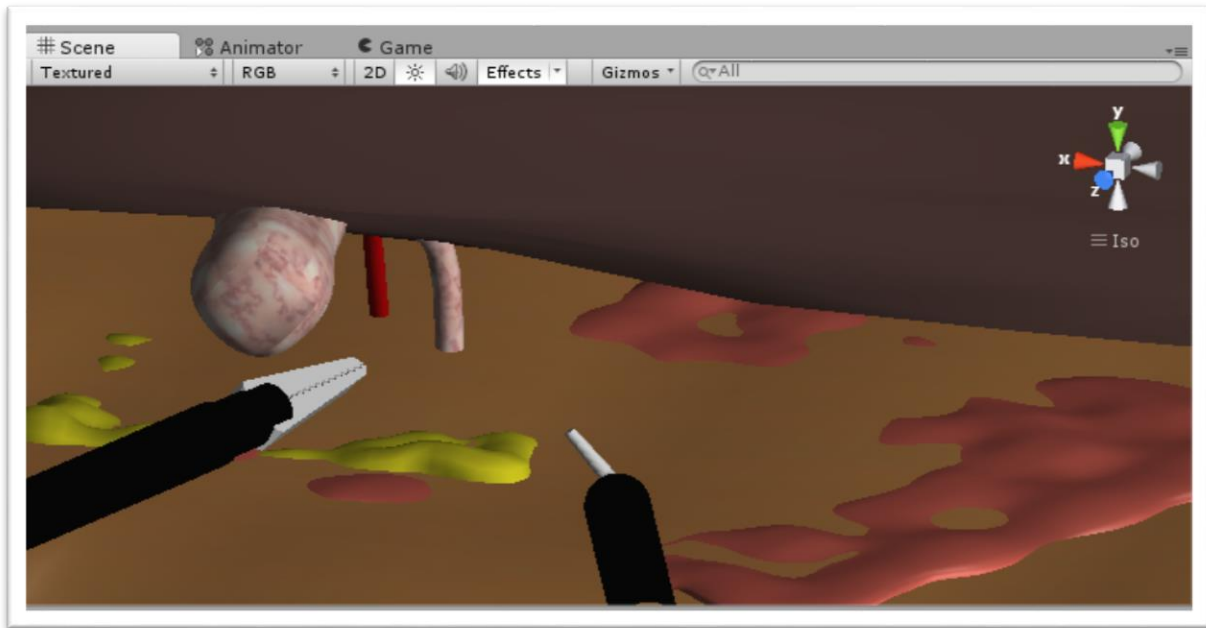


Figura 51. GameObjects en Unity.

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Movimiento de pinzas

Para realizar el movimiento de las pinzas se hizo uso de cuaterniones, esto dado que, a través de estos números, se puede representar rotaciones en tres dimensiones (Figura 52), los cuaterniones han tomado importancia por el uso que se les dio en la representación de fractales, para técnicas de modelado de computación gráfica, así como para la formación de algoritmos que se usen para codificar detalles de un modelo, así como también son usados en los motores de videojuegos.

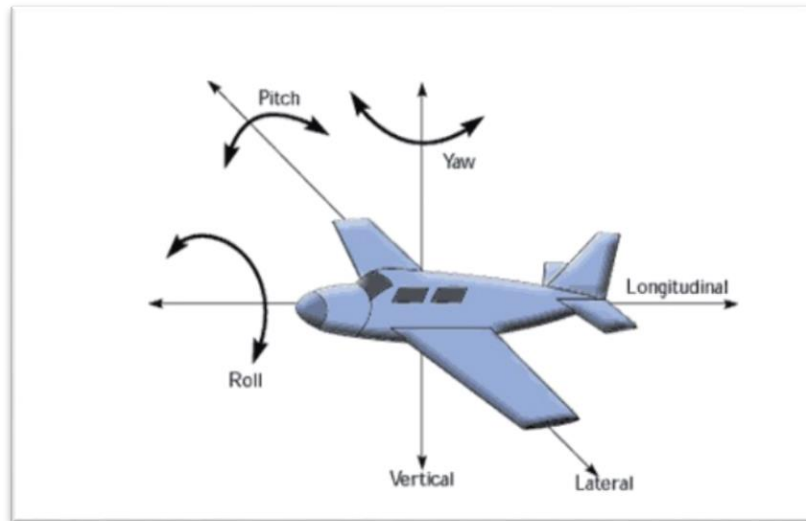


Figura 52. Representación de los movimientos que puede brindar el cuaternión.

Fuente: <http://www.novatel.com/solutions/attitude/>

Para llegar a tener la representación de cuaterniones, es que se emplean giroscópicos en las pinzas laparoscópicas, estos giroscopios se comunican mediante comunicación serial con Unity para así tener el movimiento en pantalla.

```
PinzaHook.transform.rotation = quatH.UnityQuaternion ();
```

```
PinzaGrasper.transform.rotation = quatG.UnityQuaternion ();
```

```
public class QuatNumber
```

```
{
```

```
    public float w, x, y, z;
```

```
    public void setQuatNumber(float a,float b,float c,float d)
```

```
    {
```

```
        w = a;
```

```
x = b;
```

```
y = c;
```

```
z = d;
```

```
}
```

```
public QuatNumber(float w, float x, float y, float z)
```

```
{
```

```
    this.w = w;
```

```
    this.x = x;
```

```
    this.y = y;
```

```
    this.z = z;
```

```
}
```

```
public Quaternion UnityQuaternion ()
```

```
{
```

```
    return new Quaternion (w, x, y, z);
```

```
}
```

```
}
```

3.3.4. Grapado de pinzas

Para el grapado de la pinza grasper, así como para activar el electrocauterio de la pinza hook, se utilizó la logia de botones, se implementó el uso de botones en

Arduino, los cuales se comunican con el software de Unity mediante conexión serial, el objeto de estos botones se basa en un flag que lee el estado del botón (0 sin presionar, 1 presionado).

```
if(dbState==HIGH)
{
    OUTPUT_SERIAL.print("1");
}
if(dbState==LOW)
{
    OUTPUT_SERIAL.print("0");
}
```

3.3.5. Proximidad de pinzas

Dado que se requiere interacción con el escenario 3D, es que se requiere mediante el uso de sensores de ultrasonidos, obtener la proximidad de las pinzas en un punto dado, para proceder con esto se implementó sensores ultrasónicos, la lógica programable se da en el tiempo que toma recorrer la señal de rebote en un sensor ultrasónico, se toma el tiempo que toma la señal desde que sale del sensor hasta que retorna, considerando la velocidad del sonido.

```
digitalWrite(TRIGGER, LOW);
```



```
delayMicroseconds(2);  
digitalWrite(TRIGGER, HIGH);  
delayMicroseconds(10);  
digitalWrite(TRIGGER, LOW);  
tiempo = pulseIn(ECHO, HIGH);  
distancia = tiempo / 58 ;  
OUTPUT_SERIAL.print(distancia);
```

3.3.6. Corte de pinzas

Dado que se requiere cortar el GameObject Vesícula Biliar, así como la arteria cística, es que se requiere el uso de lógica basada en destruir gameobjects y en eliminar las conexiones que se tienen entre los diferentes objetos.

Para despegar la vesícula biliar del hígado, se optó por modificar el valor de `breakForce` de `FixedJoint` que une al hígado mediante un `GameObject`.

```
this.GetComponent<FixedJoint> ().breakForce = 0;
```

De esta manera podemos controlar donde se realiza una colisión y despegar dos objetos, sin la necesidad de usar polígonos de las formas básicas creadas en 3D, lo que supone un gasto muchísimo menor de recursos de procesamiento. Y al mismo tiempo permite crear niveles de dificultad para el despegue de la vesícula biliar con el hígado.

```
OnCollisionEnter (Collision c)
{
    If(c.gameObject.name == "Objeto_union")
    { Destroy(c.gameObject); }
}
```

3.3.7. Prototipo finalizado

A continuación, se presentan algunas fotografías del prototipo finalizado, y de la integración de sus componentes Figuras 53 – 56.



Figura 53. prototipo vista frontal, con escenario laparoscópico.

Fuente: Elaboración propia.

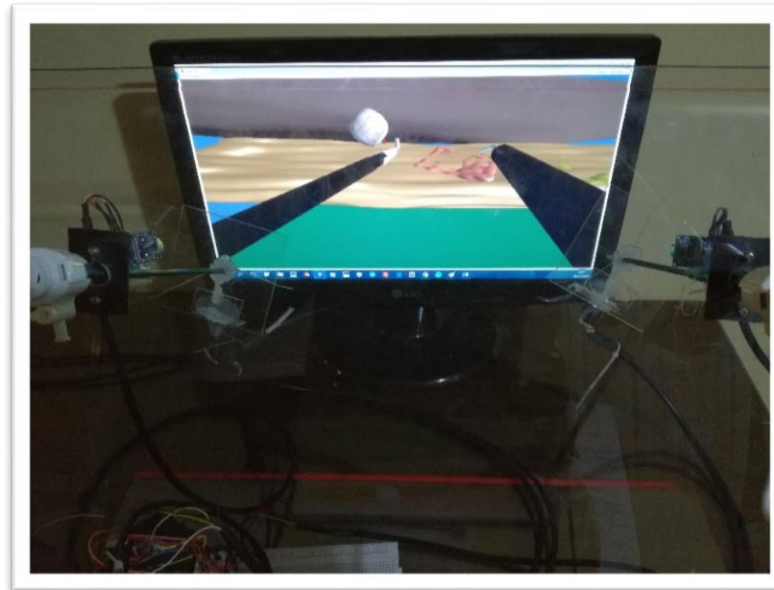


Figura 54. Prototipo frontal se observan mejor los detalles del escenario simulado en 3D.

Fuente: Elaboración propia.

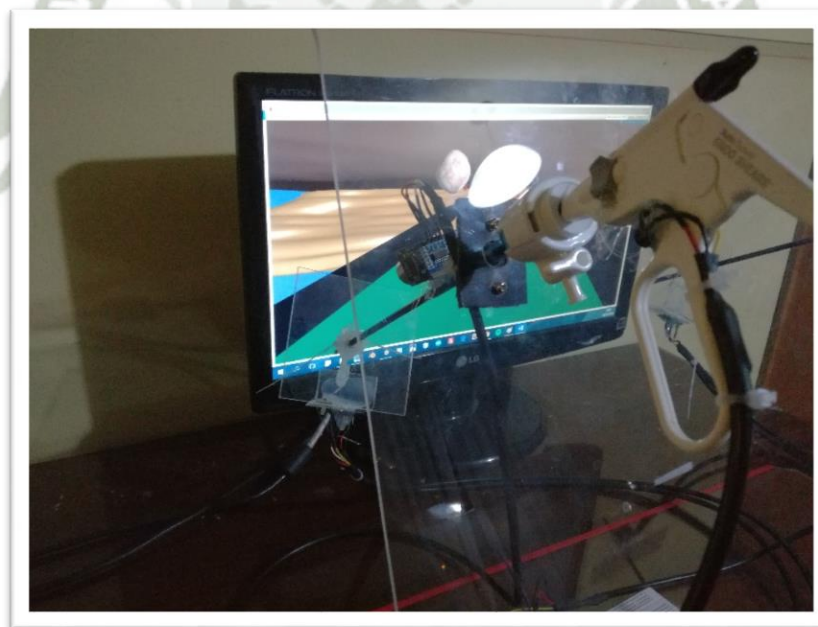


Figura 55. Vista de pinza laparoscópica con integración de sensores.

Fuente: Elaboración propia.

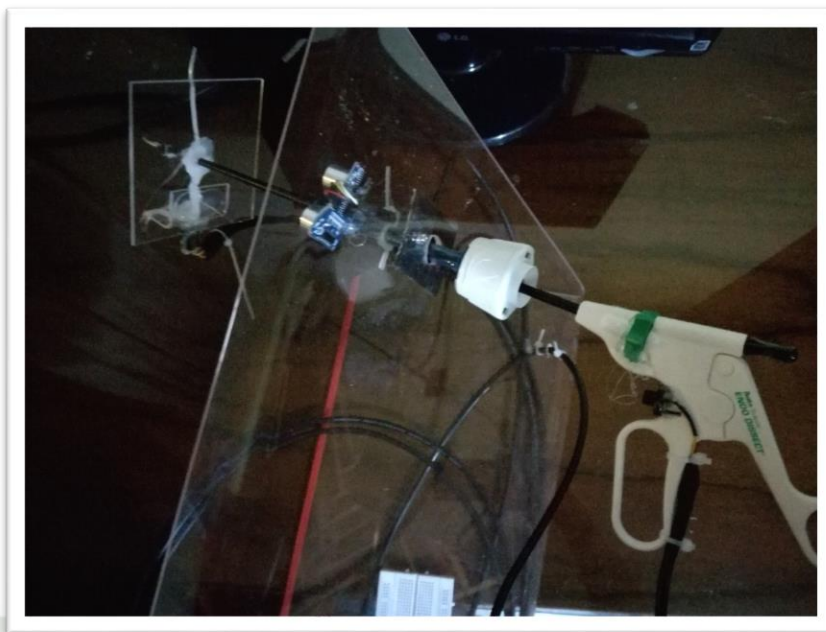


Figura 56. Pinza laparoscópica con integración de sensores.

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO 4 – PRUEBAS Y VALIDACIÓN

Se aplicó una encuesta dirigida a médicos cirujanos generales que realizan de forma rutinaria dicho procedimiento en su centro de trabajo. Dicha encuesta evalúa diferentes aspectos como utilidad, concordancia del ambiente virtual con la realidad, concordancia del movimiento de las pinzas en el ambiente.

Las preguntas consideradas en la encuesta se detallan a continuación:

- A. ¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las prácticas?
- B. ¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?
- C. ¿Es fácil de usar?
- D. ¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?
- E. ¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?
- F. ¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?
- G. ¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?
- H. ¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?
- I. ¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?

Los parámetros de respuestas se detallan a continuación:

- Absolutamente no 0
- No, pero podría ayudar 1

- Medianamente 2
- Sí, pero con deficiencias 3
- Si, definitivamente 4

Se encuestaron veinte médicos de distintas especialidades y pertenecientes al sector salud del instituto regional de neoplasias del sur.

Para un mejor entendimiento se describe a continuación el perfil de los médicos encuestados:

Especialidades: Médico cirujano abdominal, médico cirujano general, médico residente primer año, médico residente segundo año, médico residente tercer año, médico residente cuarto año.

Instrucción: Médicos Residentes (R1, R2, R3, R4) y Médicos asistentes.

Para analizar la información obtenida a través de las encuestas se empleó estadística descriptiva mostrando los porcentajes obtenidos además se utilizó el muestro por cuotas dado el número de participantes en la encuesta.

En la tabla 1 se muestran los datos recopilados mediante la encuesta, esta tabla maneja la información general que posteriormente será explicada y detallada en el presente trabajo.

	¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las prácticas?	¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?	¿Es fácil de usar?	¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?	¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?	¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?	¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?	¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?	¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?
1	4	4	4	4	4	4	4	4	4
2	3	4	3	3	3	2	3	4	3
3	4	4	2	4	3	2	4	4	2
4	4	3	3	3	4	4	4	2	4
5	4	2	3	3	3	3	4	4	4
6	3	4	4	2	3	3	4	3	4
7	2	3	4	4	4	3	2	4	4
8	4	4	4	3	4	4	4	3	4
9	4	3	3	3	4	4	4	4	3
10	4	4	4	3	4	3	3	4	4
11	3	3	4	4	4	3	4	4	2
12	4	4	2	4	4	3	3	4	4
13	4	3	4	3	4	4	4	3	4
14	3	3	4	4	2	2	4	4	3
15	4	4	3	3	4	4	4	4	3
16	3	4	4	4	4	3	3	2	4
17	4	3	2	4	4	4	4	4	2
18	4	3	3	3	3	3	4	4	4
19	4	4	4	4	3	3	4	4	3
20	4	4	4	4	4	2	4	4	4
Absolutamente no	0	0	0	0	0	0	0	0	0
No, pero podría ayudar	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Medianamente	1	1	3	1	4	2	2	0	3
Sí, pero con deficiencias	5	8	6	9	8	4	3	4	6
Sí, definitivamente	14	11	11	10	8	14	15	16	11

Tabla 1. Matriz de consolidación de datos.

Fuente: Elaboración propia.

4.1. Pregunta 1

¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las prácticas?

Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	1
Sí, pero con deficiencias	5
Sí, definitivamente	14

Tabla 2. ¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las practicas?

Fuente: Elaboración propia.

Por los datos obtenidos el simulador puede considerarse una herramienta para las practicas laparoscópicas frente a competidores como cajas laparoscópicas caseras, y esto se refleja en la figura 57.



Figura 57. ¿El simulador sustituye a un equipo de laparoscopia en las practicas?

Fuente: Elaboración propia.

4.3. Pregunta 2

	¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	1
Sí, pero con deficiencias	8
Sí, definitivamente	11

Tabla 3. ¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?

Fuente: Elaboración propia.

El ambiente creado es un apoyo para la simulación pero se pueden realizar mejoras en el mismo según lo que se indica en la encuesta Figura 58, sin embargo es un cambio importante frente a un simulador casero, el cual no permite ningún tipo de escenario realista.



Figura 58. ¿El ambiente virtual creado es fiel a la realidad?

Fuente: Elaboración propia.

4.4. Pregunta 3

	¿Es fácil de usar?
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	3
Sí, pero con deficiencias	6
Sí, definitivamente	11

Tabla 4. ¿Es fácil de usar?

Fuente: Elaboración propia.

Para el grupo encuestado se encuentra dentro de las facilidades el usarlo, como lo refleja el cuadro de la Figura 59, el manejo de las pinzas y muy sensible, lo cual hace que para un cirujano sea similar a su actividad, por lo cual no tendrían problemas en usarlo.

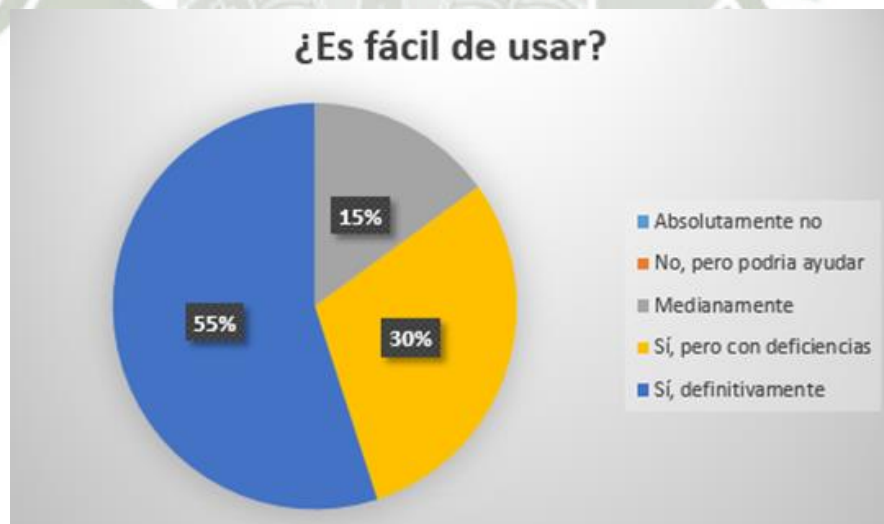


Figura 59. ¿Es fácil de usar?

Fuente: Elaboración propia.

4.5. Pregunta 4

	¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	1
Sí, pero con deficiencias	9
Sí, definitivamente	10

Tabla 5. ¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?

Fuente: Elaboración propia.

Según la Figura 60, muchos de los encuestados no logran traducir los movimientos de las pinzas en el medio virtual, esto debido a la velocidad de procesamiento del computador, podría deberse a una limitación del hardware computacional, sin embargo también es recomendable observar los sensores que brindan la información al simulador.



Figura 60. ¿Se traducen adecuadamente los movimientos de las pinzas en el medio virtual?

Fuente: Elaboración propia.

4.6. Pregunta 5

¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?	
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	4
Sí, pero con deficiencias	8
Sí, definitivamente	8

Tabla 6. ¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?

Fuente: Elaboración propia.

Para los encuestados las dimensiones son variables, dado el número de pacientes que un médico maneja en su actividad diaria es alto y los parámetros de volumen abdominal varían con los pacientes, es que un médico puede realizar intervenciones con diferentes dimensiones en cada paciente Figura 61, mientras que el simulador se encuentra con la limitación de perforaciones sobre su superficie física.

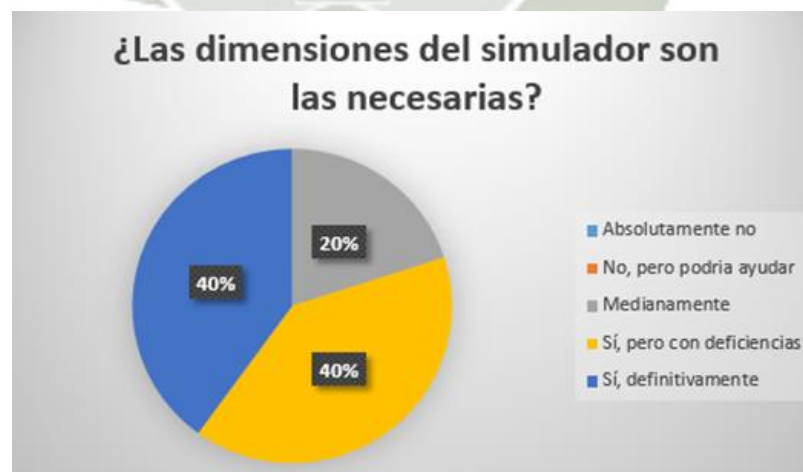


Figura 61. ¿Las dimensiones del simulador son las necesarias?

Fuente: Elaboración propia.

4.7. Pregunta 6

	<u>¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?</u>
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	2
Sí, pero con deficiencias	4
Sí, definitivamente	14

Tabla 7. ¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?

Fuente: Elaboración propia.

En este punto Figura 62 se tuvo amplia aceptación dado que solo un simulador de este tipo brinda la posibilidad de aprender una técnica quirúrgica, a diferencia de otro simulador que solo se basa en motricidad.



Figura 62. ¿Lo considera útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscopia?

Fuente: Elaboración propia.

4.8. Pregunta 7

	¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	2
Sí, pero con deficiencias	3
Sí, definitivamente	15

Tabla 8. ¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?

Fuente: Elaboración propia.

Se desprende de la Figura 63 que es conveniente para un médico tenerlo disponible en prácticas constantes, sobre todo si se requiere practicar la técnica quirúrgica.



Figura 63. ¿Sería conveniente tenerlo disponible en las prácticas constantes?

Fuente: Elaboración propia.

4.9. Pregunta 8

¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?	
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	0
Sí, pero con deficiencias	4
Sí, definitivamente	16

Tabla 9. ¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?

Fuente: Elaboración propia.

De la Figura 64 se puede desprender que un equipo de este tipo se podría usar de forma habitual, mucho más de lo esperado.

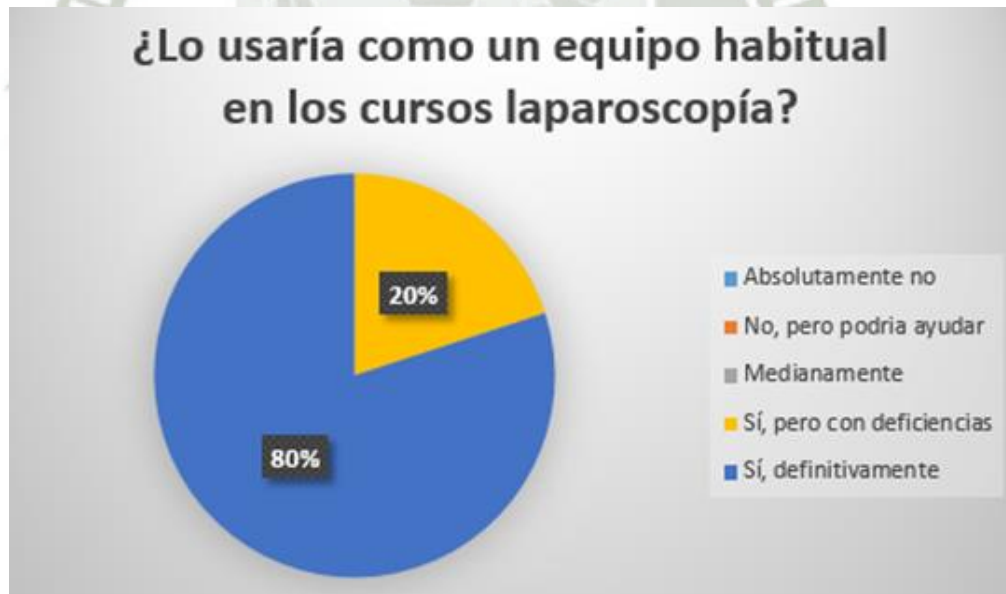


Figura 64. ¿Lo usaría como un equipo habitual en los cursos laparoscopia?

Fuente: Elaboración propia.

4.10 Pregunta 9

	<u>¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?</u>
Absolutamente no	0
No, pero podría ayudar	0
Medianamente	3
Sí, pero con deficiencias	6
Sí, definitivamente	11

Tabla 10. ¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?

Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a este punto reflejado en la Figura 65, es que se puede visualizar que los encuestados tuvieron complicaciones al emplear el simulador, posiblemente por la capacidad computacional.

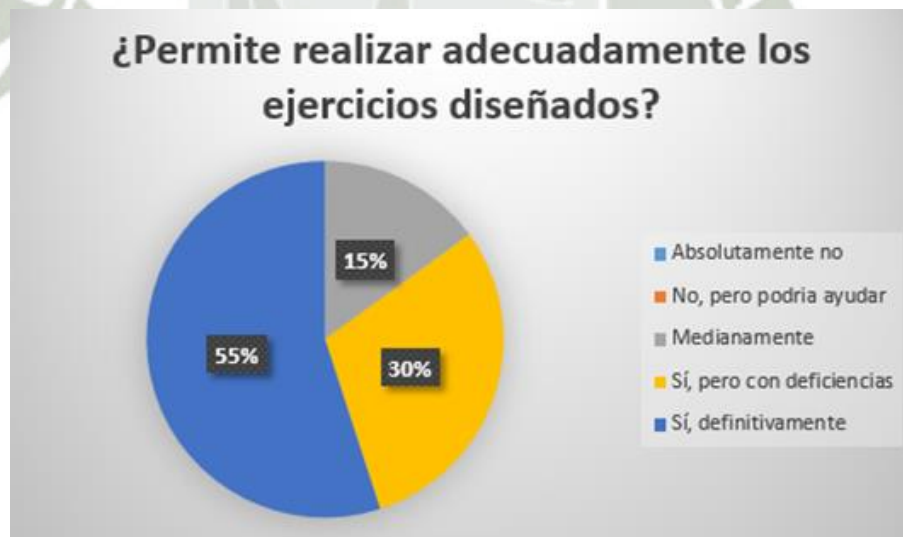


Figura 65. ¿Permite realizar adecuadamente los ejercicios diseñados?

Fuente: Elaboración propia.

COSTOS DE IMPLEMENTACIÓN

A continuación, se presenta una tabla de los costos que requiere la implementación del simulador, estos costos se toman en cuenta con el simulador finalizado.

Descripción	Cantidad	Costos
Pinza laparoscópica covidien	2 unidades	544,00
Acrilico	1 plancha	130,00
cable instrumentación multiconductor	8mt	160,00
Manga Termoretractil	2mt	3,00
espadines	1 tiraje	1,50
cintillos 2,5mm	paquete	8,00
cautin	1 unidad	15,00
estaño	3 mt	20,00
arduino uno	1 unidad	100,00
sensores proximidad	2 unidades	60,00
sensores giroscopios	2 unidades	70,00
pulsadores	2 unidades	3,00
protoboard	1 unidad	15,00
trocar	2 unidades	192,00
silicona	3 paquetes	15,00
aplicador silicona	1 unidad	15,00
pistola de calor	1 unidad	209,00
capacitación y cursos online	3 cursos	800,00
laptop i7 asus	1 unidad	4000,00
		6360,50 nuevos soles

Tabla 11. Tabla de costos de implementación del prototipo finalizado.

Fuente: Elaboración propia.

CONCLUSIONES

1. Se desarrolló de manera satisfactoria, el prototipo de simulador laparoscópico con la técnica quirúrgica de colecistectomía laparoscópica, orientado a la adquisición de habilidades quirúrgicas, esto mediante la integración de open hardware con herramientas de software libre.
2. El ambiente que se logró recrear con el simulador, tiene una aproximación muy cercana a lo real, esto debido al uso del Unwrapping proveído por Blender el cual apoyo mucho en cuanto a las texturas de los elementos, sin embargo, se presentó una limitación en cuanto a cuerpos suaves (soft body) relacionadas a Unity, ya que para realizar la aproximación a un soft body en Unity, se requiere una capacidad de procesamiento elevada y el procesamiento de aun alta cantidad de polígonos.
3. Se logró aplicar exitosamente la tecnología de game engine, dado que se integraron los elementos deseados en el proyecto, desde los sensores para interactuar con el entorno, el hardware libre Arduino, y los modelos 3D creados en Blender.
4. El hardware libre Arduino, demostró ser muy versátil y ampliamente aplicable para todo tipo de proyectos, en el caso del presente prototipo, permitió crear un puente entre el medio ambiente y el game engine, logrando así interactuar físicamente con el escenario laparoscópico creado.

5. Se realizaron pruebas de validación mediante una encuesta dirigida a médicos cirujanos los cuales tienen conocimientos en la técnica laparoscópica, y específicamente en el ambiente que se simula con el prototipo. En cuanto a precisión se consideró si el movimiento de las pinzas se traducían adecuadamente en el medio virtual, y se obtuvo como respuesta que Sí, definitivamente en un 50% y en otro 45% Sí, pero con deficiencias, considerando la escala aplicada se tiene una amplia aceptación en este punto.

6. La efectividad del simulador, se consideró útil para las prácticas de habilidades y destrezas en laparoscópica con una aceptación del 70% de quienes respondieron que “Sí, Definitivamente”, también se consideró que el simulador sustituye a un equipo de laparoscópica en prácticas con una aceptación total del 52% adicionalmente con una aceptación parcial del 24%.

7. El realismo del simulador, el ambiente que se creó para la simulación considero elementos empleados en una cirugía real tales como pinzas y trocares, además en el ambiente virtual se intentó recrear de manera fiel las partes anatómicas esto se refleja en la encuesta cuando se consulta si el ambiente virtual creado es fiel a la realidad, donde se obtuvo una respuesta de Sí, definitivamente al 55% y un 40% de Si, pero con deficiencias.

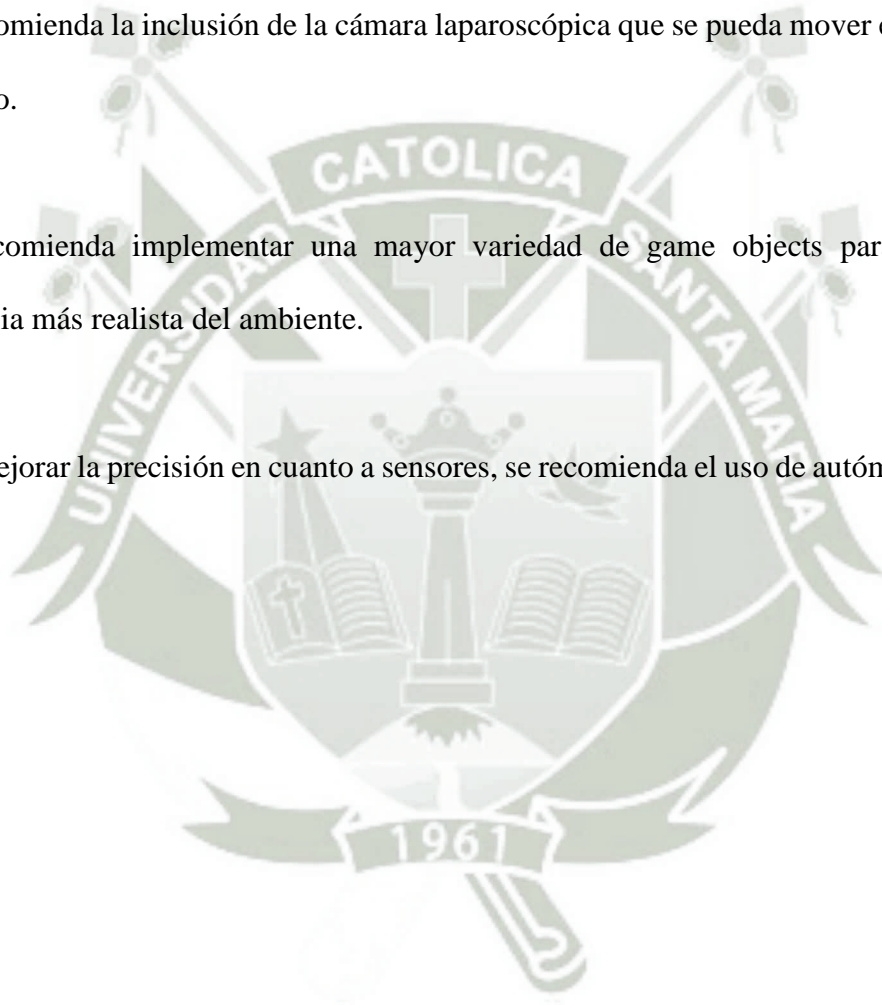
8. La portabilidad del simulador, de los encuestados se obtuvo un 80% de aceptación, al considerar si podrían usarlo de manera habitual en los cursos de laparoscópica, esto adicionalmente a las dimensiones del simulador lo convierten en un equipo portable para los usuarios que deseen entrenarse en este tipo de simulador.

9. La Escalabilidad del simulador, el software Unity permite la escalabilidad de escenas, esto es posible añadiendo nuevos escenarios de cirugías al prototipo, actualizándolo partiendo del modelo ya creado, se considera que el simulador es escalable en este punto.



RECOMENDACIONES

1. Se recomienda para trabajos futuros emplear un hardware computacional de última generación, así como tarjetas gráficas, dado que la capacidad de procesamiento que requieren los cuerpos blandos es alta, y se incrementa con el uso de colisionadores.
2. Se recomienda la inclusión de la cámara laparoscópica que se pueda mover en el escenario quirúrgico.
3. Se recomienda implementar una mayor variedad de game objects para brindar una experiencia más realista del ambiente.
4. Para mejorar la precisión en cuanto a sensores, se recomienda el uso de autómatas de mayor gama.



BIBLIOGRAFÍA

- [1] MERINO, Raúl Rodrigo, Arredondo, and Luis Ernesto Gallardo Valencia. "Uso de simuladores en el adiestramiento de residentes." *Ginecol Obstet Mex* 80.6 (2012): 400-408.
- [2] QUIR, Rev Esp Méd. "Utilidad del simulador para el desarrollo de habilidades y destrezas quirúrgicas en laparoscopia." *Rev Esp Méd Quir* 19 (2014): 222-228.
- [3] SILVA, Luis Fernando MS, et al. "Avaliação do uso de realidade aumentada e gamificação para o treinamento de habilidades em laparoscopia." *Anais do Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. (2015): Vol. 26. No. 1.
- [4] JAKIMOWICZ, Jack J., and Caroline M. Jakimowicz. "Simulación en cirugía, ¿ dónde estamos ya dónde llegaremos." *Cir Cir* 79 (2011): 44-49.
- [5] HALUCK, Randy S., et al. "Are surgery training programs ready for virtual reality? A survey of program directors in general surgery." *Journal of the American College of Surgeons* 193.6 (2001): 660-665.
- [6] KORNDORFFER, James R., Dimitris Stefanidis, and Daniel J. Scott. "Laparoscopic skills laboratories: current assessment and a call for resident training standards." *The American journal of surgery* 191.1 (2006): 17-22.
- [7] CHAN, Beverley, et al. "Resident training in minimally invasive surgery: a survey of Canadian department and division chairs." *Surgical endoscopy* 24.3 (2010): 499-503.
- [8] FU, Shangxi, et al. "Applied Research on Laparoscopic Simulator in the Resident Surgical Laparoscopic Operation Technical Training." *Indian Journal of Surgery* (2016): 1-6.
- [9] Unity3D, <<Unity Documentation,>> 2016. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/Manual/index.html>
- [10] Monodevelop, <<Unity MonoDevelop,>> 2016. [En línea]. Available: <https://docs.unity3d.com/es/current/Manual/MonoDevelop.html>
- [11] Blender, <<Blender About,>> 2016. [En línea]. Available: <https://www.blender.org/about/license/>
- [12] D'Ausilio, Alessandro. "Arduino: A low-cost multipurpose lab equipment." *Behavior research methods* 44.2 (2012): 305-313.

ANEXO 1 – ESPECIFICACIONES DE SOFTWARE

PROFUNDIDAD DE PINZAS

```
#define echo 10
```

```
#define trig 12
```

```
unsigned long start, finish, time;
```

```
float dist;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  pinMode(echo, INPUT);
```

```
  pinMode(trig, OUTPUT);
```

```
}
```

```
void loop()
```

```
{
```

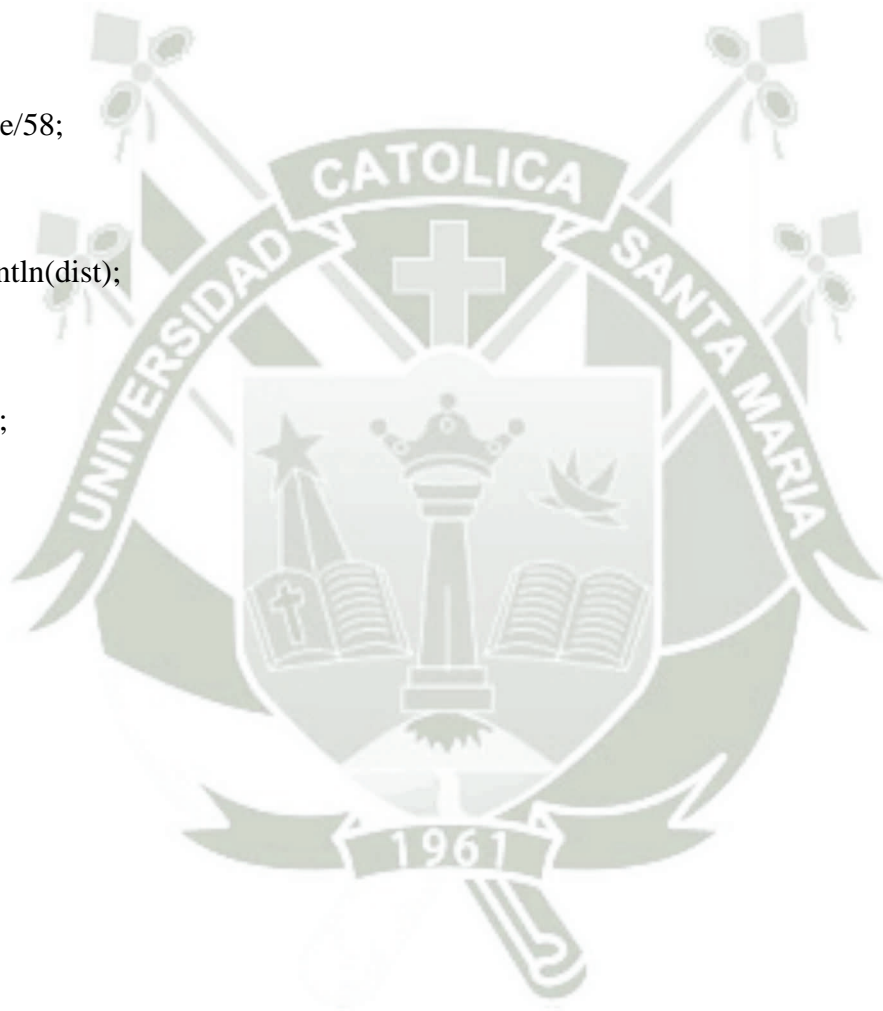
```
  digitalWrite(trig,HIGH);
```

```
  delayMicroseconds(2);
```

```
  digitalWrite(trig,LOW);
```

```
  while(digitalRead(echo)!=LOW);
```

```
start = micros();  
  
while(digitalRead(echo)==HIGH);  
  
finish = micros();  
  
time = finish - start;  
  
if(time>25000)  
  
time = 0;  
  
dist = time/58;  
  
Serial.println(dist);  
  
delay(30);  
  
}
```



CONTROL DE PULSADORES

```
int pushButton = 2;

int pushButton2 = 4;

void setup() {

  Serial.begin(9600);

  pinMode(pushButton, INPUT);
  pinMode(pushButton2, INPUT);
}

void loop() {

  int buttonState = digitalRead(pushButton);
  int buttonState2 = digitalRead(pushButton2);

  if((buttonState && buttonState2 ) == 1)

    Serial.println("1,1");

  delay(1000);

  if((buttonState && buttonState2 ) == 0)

    Serial.println("0,0");
```

```
delay(1000);  
  
if((buttonState == 1 and buttonState2 ==0))  
  
Serial.println("1,0");  
  
delay(1000);  
  
if((buttonState == 0 and buttonState2 ==1))  
  
Serial.println("0,1");  
  
delay(1000);  
  
delay(1);  
}
```



CONTROL ROTACIONES

```
int16_t ax, ay, az;
```

```
int16_t gx, gy, gz;
```

```
#define OUTPUT_READABLE_ACCELGYRO
```

```
#define LED_PIN 13
```

```
bool blinkState = false;
```

```
void setup() {
```

```
  #if I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_ARDUINO_WIRE
```

```
    Wire.begin();
```

```
  #elif I2CDEV_IMPLEMENTATION == I2CDEV_BUILTIN_FASTWIRE
```

```
    Fastwire::setup(400, true);
```

```
  #endif
```

```
  Serial.begin(9600);
```

```
  Serial.println("Inicializando dispositivo");
```

```
accelgyro.initialize();

Serial.println("Probando conexion");

Serial.println(accelgyro.testConnection() ? "Conexion exitosa" : "Conexion fallida");

pinMode(LED_PIN, OUTPUT); //pin de control
}

void loop() {

accelgyro.getMotion6(&ax, &ay, &az, &gx, &gy, &gz);

#ifdef OUTPUT_READABLE_ACCELYGYRO

Serial.print("a/g:\t");
Serial.print(ax); Serial.print("\t");
Serial.print(ay); Serial.print("\t");
Serial.print(az); Serial.print("\t");
Serial.print(gx); Serial.print("\t");
Serial.print(gy); Serial.print("\t");
Serial.println(gz);

#endif

}
```

```
// indicador de actividad  
  
blinkState = !blinkState;  
  
digitalWrite(LED_PIN, blinkState);  
  
}
```



GRAPADO DE ORGANOS

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
public class Script_grapado : MonoBehaviour {
```

```
    private SkinnedMeshRenderer Grapa;
```

```
    void Start ()
```

```
    {
```

```
        Grapa = GetComponent<SkinnedMeshRenderer>();
```

```
    }
```

```
    void Update ()
```

```
    {
```

```
        if(Input.GetButtonDown(KeyCode.Joystick1Button0))
```

```
        {
```

```
            Grapa_superior.enabled = !Grapa_superior.enabled;
```

```
        }
```

```
    }
```

```
}
```

CORTE DE ORGANOS

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
public class Script_FixedJoint_Break : MonoBehaviour {
```

```
void Start ()
```

```
{
```

```
}
```

```
void Update () {
```

```
{
```

```
OnJointBreak(0);
```

```
}
```

```
}
```

```
void OnJointBreak(float breakForce) {
```

```
    this.GetComponent<FixedJoint> ().breakForce = 0;
```

```
}
```

```
}
```

EMPLEO DE CUATERNION

```
PinzaHook.transform.rotation = quatH.UnityQuaternion ();
```

```
PinzaGrasper.transform.rotation = quatG.UnityQuaternion ();
```

```
public class QuatNumber
{
    public float w, x, y, z;
    public void setQuatNumber(float a,float b,float c,float d)
    {
        w = a;
        x = b;
        y = c;
        z = d;
    }

    public QuatNumber(float w, float x, float y, float z)
    {
        this.w = w;
        this.x = x;
        this.y = y;
        this.z = z;
    }
}
```



```
public Quaternion UnityQuaternion ()  
  
    {  
  
        return new Quaternion (w, x, y, z);  
  
    }  
  
}
```



CONTROLADOR DE COLISIONES

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
public class Script_Collision : MonoBehaviour {
```

```
    private GameObject EsferaArteria;
```

```
    void update()
```

```
    {  
    }
```

```
    void OnCollisionStay (Collision col)
```

```
    {
```

```
        Debug.Log ("Colision");
```

```
        EsferaArteria.GetComponent<Renderer> ().material.color == Color.black;
```

```
    }
```

```
}
```

CONFIGURACION DE PINZA HOOK



Figura 66. Colisionador Hook.

Fuente: Elaboración propia.

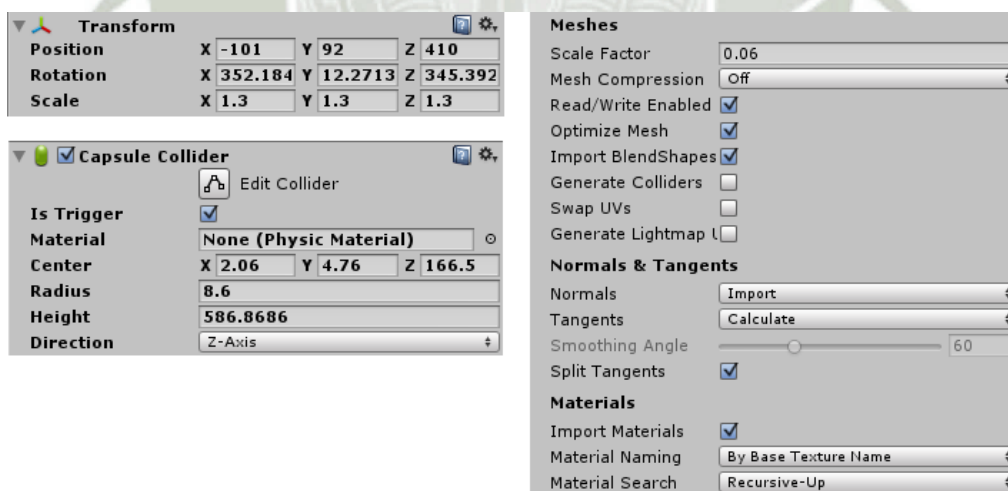


Figura 67. Configuración Pinza Hook

Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN PINZA GRASPER

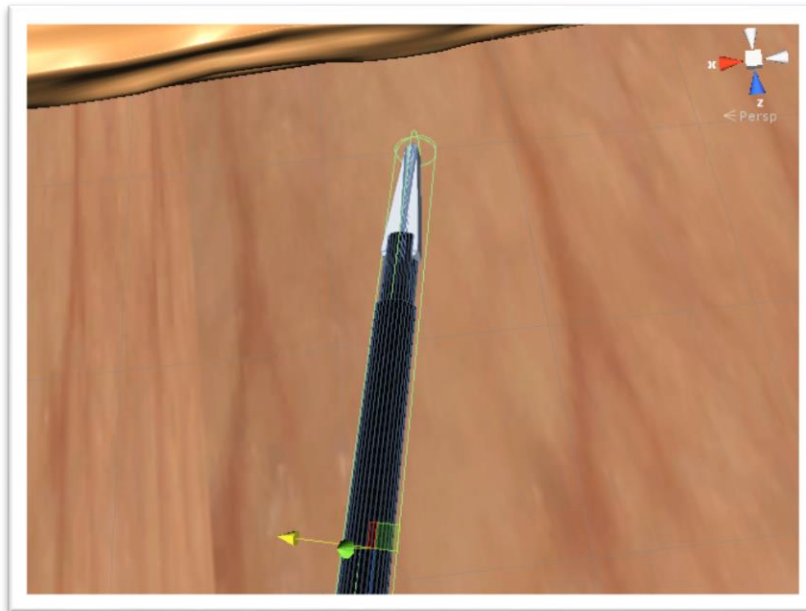


Figura 68. Colisionador Grasper.

Fuente: Elaboración propia.

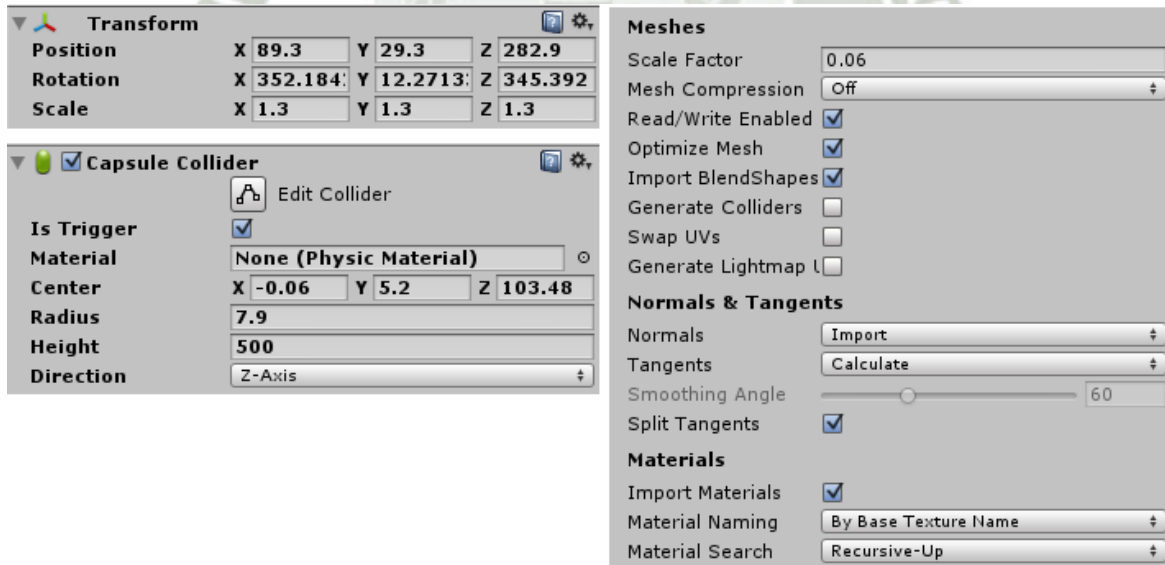


Figura 69. Configuración Pinza Grasper.

Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN VESÍCULA BILIAR

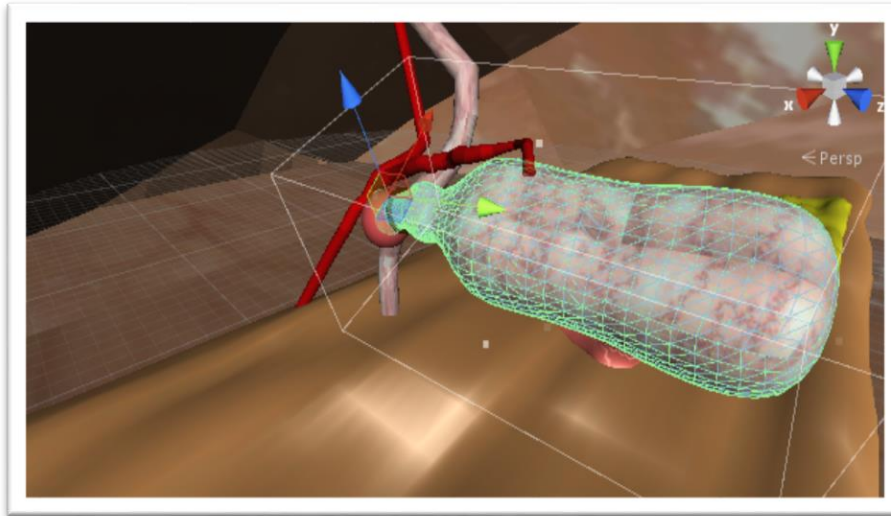


Figura 70. Colisionador Vesícula.

Fuente: Elaboración propia.

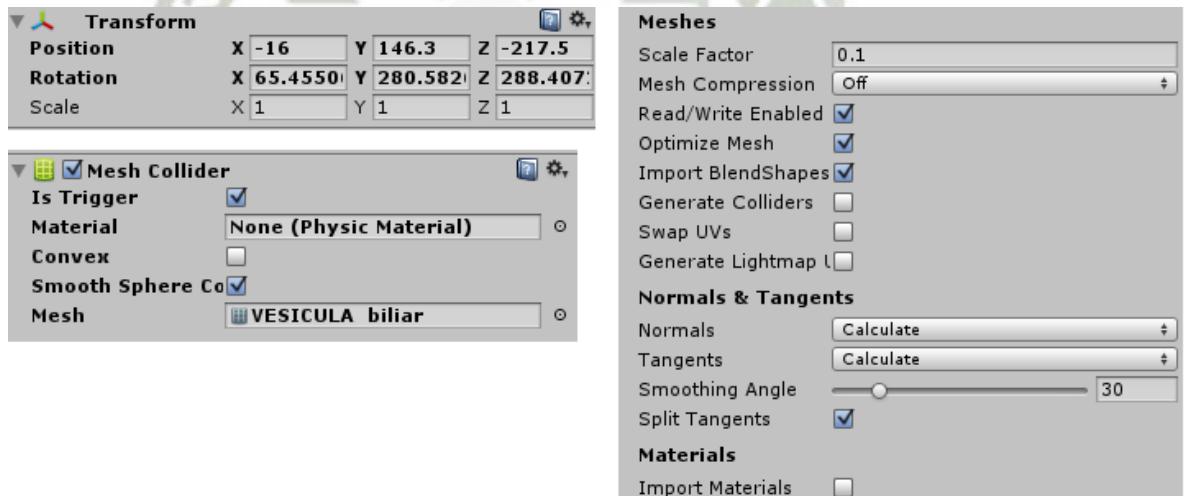


Figura 71. Configuración Vesícula

Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN DE ARTERIA CISTICA

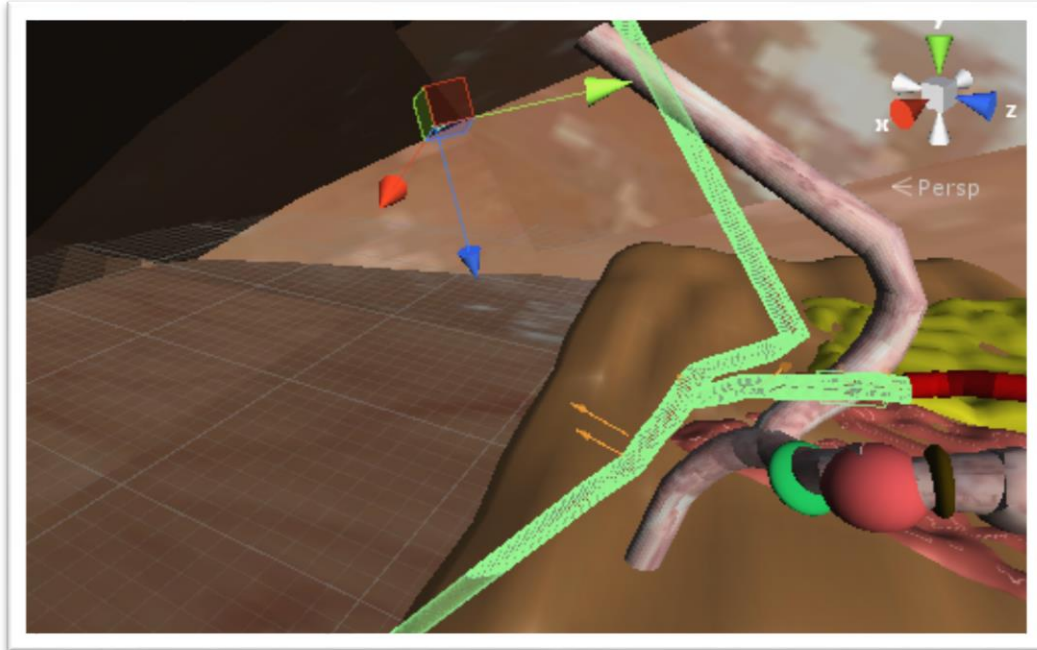


Figura 72. Colisionador Arteria.

Fuente: Elaboración propia.

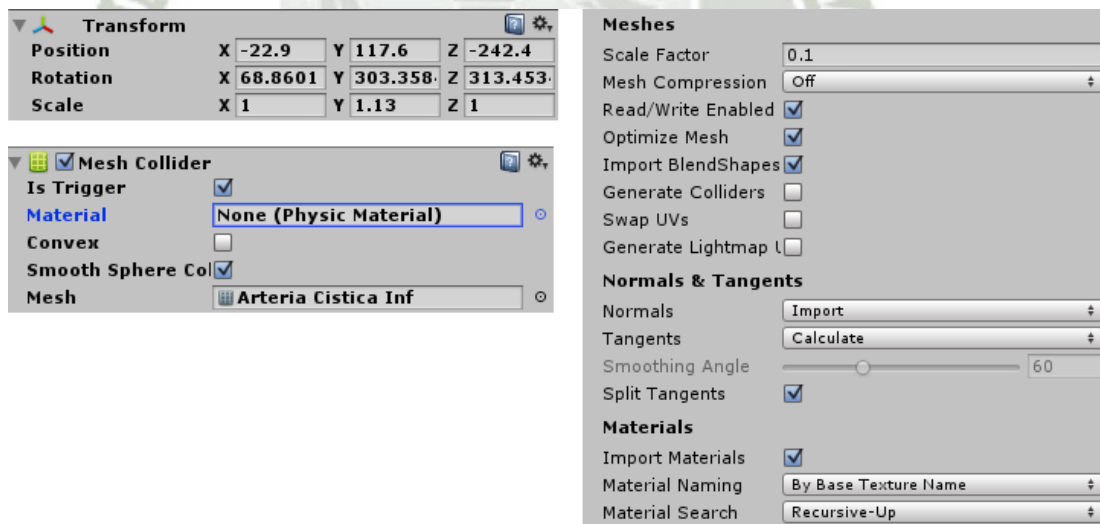


Figura 73. Configuración Arteria.

Fuente: Elaboración propia.

CONFIGURACIÓN HIGADO

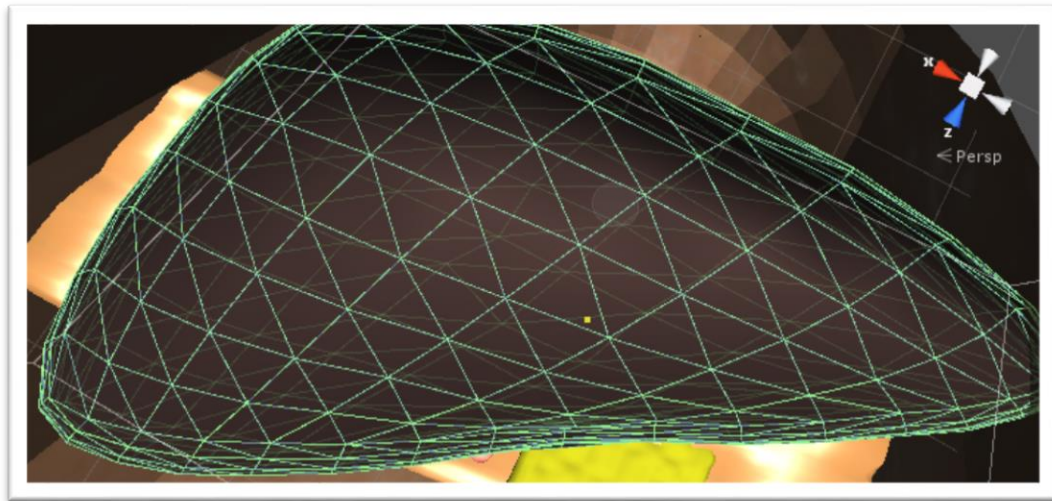


Figura 74. Colisionador Hígado.

Fuente: Elaboración propia.

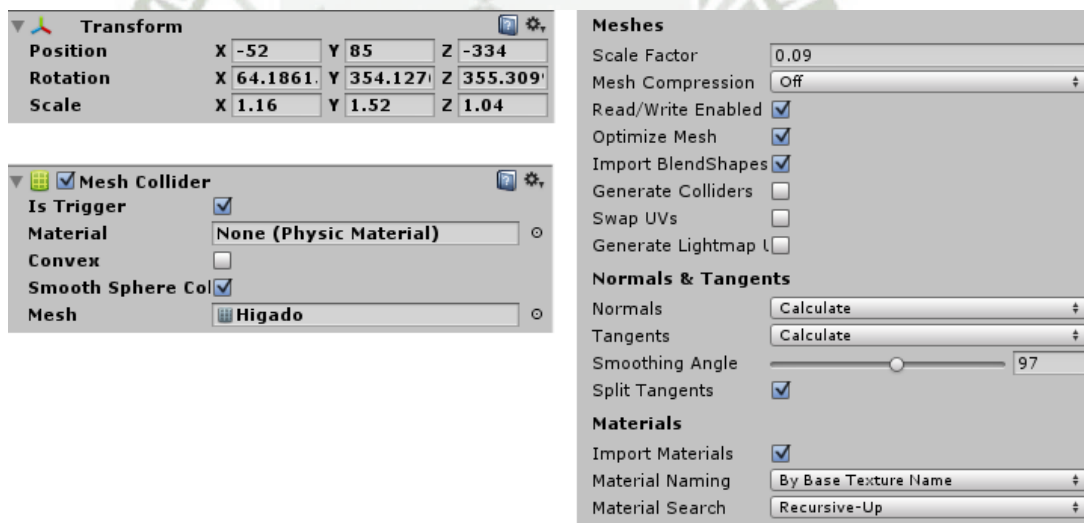


Figura 75. Configuración Hígado.

Fuente: Elaboración propia.

ANEXO 2 – ESPECIFICACIONES DE HARDWARE

COMPONENTES:

- Dos sensores de proximidad ultrasónicos HC-SR2.
- Dos Giroscopios ADXL345.
- Dos pulsadores.
- Ocho metros de cable de instrumentación.
- Un Protoboard.
- Dos pinzas laparoscópicas Grasper y Hook.
- Dos Trocares.
- Plancha acrílica.
- Manga Termo retráctil.
- Espadines un tiraje.
- Cintillos de 2.5mm.

CONEXIONES

HC-SR2 IZQUIERDA

VCC	5v
TRIG	D6
ECHO	D7
GND	GND

HC-SR2 DERECHA

VCC	5v
TRIG	D8
ECHO	D9
GND	GND

ADXL345 IZQUIERDA

GND	GND
VCC	3.3V
SD0	D4
SDA	A4
SCL	A5

ADXL345 DERECHA

GND	GND
VCC	3.3V
SD0	D5
SDA	A4
SCL	A5

PULSADOR IZQUIERDA

Pin1	GND
Pin2	D3
Pin3	5V
Pin4	-

PULSADOR DERECHA

Pin1	GND
Pin2	-
Pin3	5V
Pin4	D2

GLOSARIO DE TÉRMINOS

- **Cirugía laparoscópica:** Intervención quirúrgica que supone practicar pequeñas incisiones a través de la piel e introducir instrumentos en el cuerpo para realizar una reparación.
- **Post quirúrgico:** Periodo entre el final de una operación y la recuperación completa del paciente.
- **Hardware Libre:** Dispositivos de hardware que mantienen sus especificaciones y diagramas esquemáticos para el acceso público.
- **Colecistectomía laparoscópica:** Cirugía mínimamente invasiva que se realiza para extirpar la vesícula biliar.
- **Riesgo quirúrgico:** Posibilidad de que aparezcan resultados adversos como consecuencia de una cirugía.
- **Game Engine:** Software framework diseñado para la creación y el desarrollo de video juegos para diversas plataformas.
- **Renderizado:** Es un proceso para crear un espacio en 3D formado estructuralmente por polígonos.
- **Cirugía mínimamente invasiva:** Sinónimo de cirugía laparoscópica.
- **GLP:** Licencia de software libre que da la libertad a los usuarios finales de usar, estudiar, compartir y modificar el software.
- **Trocar:** Instrumento de quirúrgico con forma de punzón cilíndrico.
- **Pinza hook:** Pinza con un gancho en la parte frontal, la cual también es empleada como electrocauterio.
- **Electro cauterio:** Cauterio constituido por el que pasa una corriente eléctrica para cauterizar o cortar.
- **Pinza grasper:** Pinza laparoscópica con forma de tenaza en la parte frontal, también puede constar de electrocauterio.
- **GameObject:** Son los objetos que se pueden usar en el juego, aun cuando no se puedan visualizar.
- **Assets:** Son todos los game objects y también otros objetos como código o escenas que implementan el juego o se tienen como históricos.

-Quaternión: Forma de representar rotaciones a través de cualquier eje, a través de números reales.

