

UNIVERSIDAD DEL CAUCA



ANTEPROYECTO

Simulador de Sutura Robótica basado en ROS2.

Autores:

Alvaro David Moncayo Martinez

Código: 104719011247

Diego Alexander Bolaños Muños

Código: 104719011276

Director:

Hermes Fabian Vargas

Codirector:

Dr. Oscar Andrés Vivas Albán

**Facultad de ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones
Programa de ingenieria en Automatica Industrial
Popayán - Cauca.**

30 de mayo de 2024

Índice

1. Introducción.	3
2. Planteamiento del problema.	4
3. Estado del Arte	6
3.1. Avances en Simuladores de Sutura Robótica	6
4. Objetivos.	14
4.1. Objetivo General	14
4.2. Objetivos Específicos	14
5. Aproximación Metodológica	14
5.1. Objetivo Específico 1: Formular criterios precisos para la implementación de un simulador virtual de sutura	14
5.1.1. Fase 1: Investigación y Recopilación	14
5.1.2. Fase 2: Establecimiento de Criterios	14
5.2. Objetivo Específico 2: Desarrollar un entorno de simulación que integre el robot UR3 y la pinza Endowrist para sutura laparoscópica	15
5.2.1. Fase 3: Diseño y Desarrollo	15
5.2.2. Fase 4: Implementación y Pruebas Iniciales	15
5.3. Objetivo Específico 3: Validar el simulador desarrollado con diversas trayectorias de sutura quirúrgicas	15
5.3.1. Fase 5: Validación	15
5.3.2. Fase 6: Documentación y Publicación	15
6. Cronograma.	16
7. Recursos, presupuesto y fuentes de financiación.	17
8. Condiciones de entrega.	18

1. Introducción.

El desarrollo de tecnologías robóticas en la medicina ha permitido avances significativos en la realización de procedimientos quirúrgicos mínimamente invasivos, entre los cuales la sutura robótica destaca por su precisión y eficiencia. Este enfoque moderno facilita suturas consistentes y reduce el riesgo de error humano, lo que es crítico en operaciones delicadas. Para capacitar a los cirujanos en estas técnicas avanzadas, existen varias herramientas, entre las cuales están los entrenadores y los simuladores quirúrgicos de sutura. Los primeros se han vuelto herramientas indispensables debido a que proporcionan un ambiente seguro y controlado donde los médicos pueden practicar y afinar sus habilidades sin el riesgo de dañar a un paciente real. Los segundos juegan un papel crucial en este proceso educativo, debido a que simulan el entorno quirúrgico y los procedimientos con un alto grado derealismo, permitiendo no solo el entrenamiento en habilidades básicas y procedimientos complejos, sino también proporcionando una retroalimentación visual de los distintos procesos de sutura. Estos simuladores utilizan modelos avanzados de tejidos, respuesta háptica y visualizaciones detalladas, ofreciendo así una experiencia inmersiva. El uso y la repetición en estos entornos aseguran que los cirujanos ganen experiencia práctica y confianza antes de enfrentarse a situaciones reales.

Este proyecto se centrará en la implementación y validación de un simulador de sutura robótica que incorporará el robot UR3 y la pinza Endowrist, empleando ROS 2 para facilitar la comunicación entre MATLAB y Unity. MATLAB es un entorno de análisis y diseño ampliamente utilizado que permite la realización de cálculos matemáticos complejos, mientras que Unity es una plataforma avanzada para el desarrollo de simulaciones y experiencias interactivas en 3D. ROS 2 es una plataforma de código abierto que revoluciona el desarrollo de aplicaciones robóticas. Ideal para sistemas distribuidos y en tiempo real. Permite un mejor desarrollo de aplicaciones industriales y comerciales, con seguridad, certificación e interoperabilidad. En el presente proyecto se pretende desarrollar una plataforma para facilitar la investigación y el desarrollo continuo de nuevas técnicas y tecnologías en la cirugía robótica.

2. Planteamiento del problema.

El Simulador de Sutura Robótica es un componente clave en el proceso de diseño y evaluación de tecnologías quirúrgicas avanzadas. Permite replicar de manera adecuada el proceso de sutura laparoscópica utilizando un simulador de robot quirúrgico. Además, integra el modelado avanzado de heridas y la física de deformación de los tejidos [1], elementos fundamentales para proporcionar una experiencia de simulación que permita a ingenieros y diseñadores evaluar y perfeccionar tanto el rendimiento del robot como el comportamiento del tejido humano durante el proceso de sutura [1, 2].

A pesar de sus capacidades, los simuladores de quirúrgicos actuales enfrentan desafíos, como la precisión en la representación de tejidos blandos, y la escalabilidad en tiempo real [3, 4]. Se necesitan investigaciones para desarrollar modelos de tejido deformable más avanzados, realizar estudios de validación clínica, y explorar la escalabilidad y la interoperabilidad para facilitar su implementación práctica [5, 6].

Los simuladores quirúrgicos representan una herramienta esencial en la formación médica, permitiendo a los profesionales practicar procedimientos en un entorno controlado y seguro. Sin embargo, la eficacia de estos simuladores está comprometida por varios desafíos técnicos que limitan su potencial educativo y práctico.

Uno de los problemas más significativos es la falta de precisión en la representación de tejidos blandos, aspecto fundamental para elrealismo de los simuladores [7–9]. La inexactitud en esta área puede resultar en una experiencia de aprendizaje deficiente, disminuyendo la calidad de la formación quirúrgica y potencialmente afectando la preparación del usuario para situaciones reales.

Además, la ausencia de retroalimentación háptica adecuada reduce la inmersividad y la efectividad del entrenamiento. Mientras que la retroalimentación visual es ampliamente implementada, la háptica es crucial para simular la interacción física con tejidos, lo que es indispensable para el desarrollo de habilidades quirúrgicas precisas.

La interacción entre los elementos del simulador, como el hilo y el tejido o la aguja y el tejido, frecuentemente presenta fallas que pueden frustrar al usuario y entorpecer el proceso de aprendizaje [7, 8]. Este problema se agrava con la limitada capacidad de algunos simuladores para escalar o adaptarse en tiempo real a diferentes escenarios quirúrgicos. La falta de flexibilidad y escalabilidad impide la integración efectiva de estos sistemas en entornos clínicos y educativos diversos.

El alto costo de los entrenadores y simuladores quirúrgicos representa un problema considerable en la cirugía moderna. En el caso de los entrenadores, los gastos asociados con los materiales y el mantenimiento del sistema contribuyen significativamente a incrementar su costo. Por otro lado, los simuladores quirúrgicos también enfrentan costos elevados debido a la implementación y el desarrollo continuo de hardware y software especializados.

Para ello se requiere la investigación y desarrollo de modelos más avanzados de tejidos deformables, implementación de interfaces hápticas, estudios de validación clínica para asegurar la efectividad de las simulaciones y una mayor exploración de la escalabilidad y la interoperabilidad de los simuladores para garantizar una implementación práctica y versátil [5, 6].

En la línea de investigación de robótica quirúrgica de la Universidad del Cauca, se cuenta con un prototipo de simulador para sutura robótica sin embargo requiere mejoras en varios aspectos tales como su migración a Ros 2, implementación de modelos de tejido deformable avanzados y el desarrollo de algoritmos para mejorar la respuesta del robot a las acciones del usuario. También se pretende optimizar la interfaz de usuario para facilitar la manipulación del robot y la ejecución de la sutura. En cuanto alrealismo de la trayectoria del hilo, se propone implementar un modelo óptimo de la física del hilo que simule su comportamiento, incluyendo su interacción con el tejido y los instrumentos, así como desarrollar algoritmos para la generación de diferentes tipos patrones de sutura.

Con este trabajo se pretende desarrollar un simulador de sutura quirúrgica de bajo coste, capaz de proporcionar realimentación visual integrando Unity y Matlab mediante ROS 2, un robot UR3 y una pinza endowrist. Con esto, se busca proporcionar una experiencia educativa amplia y validar la capacidad del robot UR3 en suturas quirúrgicas simuladas. Además, se explorará la inclusión de mejoras en los tejidos y elementos como aguja e hilo, deformaciones e interacciones, todo con el fin de enriquecer el aprendizaje y la práctica quirúrgica. Simultáneamente, este trabajo busca responder a la pregunta de investigación:

¿Qué características tendrá un simulador de realidad virtual para sutura robótica en el contexto de la robótica quirúrgica, considerando la integración de un robot UR3 y una pinza Endowrist sobre la plataforma Ros 2?

3. Estado del Arte

En el vanguardista campo de la medicina, los simuladores de sutura robótica emergen como herramientas cruciales, diseñadas para simular el proceso de sutura con una precisión y realismo inigualables. Estas plataformas no solo son fundamentales para evaluar y entrenar el uso de instrumentos quirúrgicos avanzados, como la pinza Endowrist, sino que también son vitales en el refinamiento de las habilidades quirúrgicas. Su desarrollo es clave para garantizar que el diseño y funcionalidad de estos simuladores reproduzcan con exactitud la complejidad de las cirugías reales, ofreciendo un avance significativo en las tecnologías quirúrgicas y en la capacitación de los cirujanos, especialmente en procedimientos mínimamente invasivos, a continuación se presentan algunos:

3.1. Avances en Simuladores de Sutura Robótica

En el estudio realizado por Korzeniowski, et al. (2021) sobre la laparoscopía de hernias inguinales pediátricas [7], se diseñó un simulador que destaca por su capacidad para replicar el proceso de sutura laparoscópica. Este simulador integra un modelado avanzado de heridas y una física de deformación de tejidos sumamente realista, proporcionando una plataforma avanzada para la evaluación y el perfeccionamiento del rendimiento de herramientas quirúrgicas como la pinza endowrist. La figura 1 ilustra el simulador diseñado en el estudio.

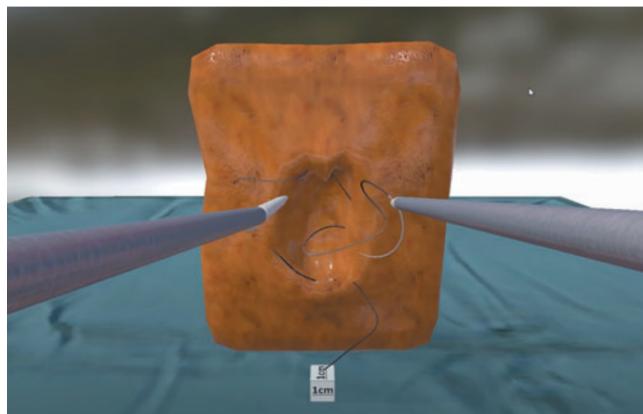


Figura 1: Imagen de sutura de hernia discal mediante el simulador software

Aunque el simulador demostró un potencial significativo en mejorar la experiencia educativa en procedimientos laparoscópicos pediátricos sin poner en riesgo a pacientes jóvenes, se identificaron limitaciones como la falta de retroalimentación háptica y la precisión en la representación de tejidos blandos.

El simulador gastrointestinal endoscopic surgical robot simulator (GESRsim) es una herramienta diseñada para replicar de manera precisa y realista las cirugías endoscópicas gastrointestinales. Desarrollado por Gao, et al. (2022) [8], este simulador incorpora modelos 3D detallados de manipuladores quirúrgicos y utiliza algoritmos de control avanzados, como el servo control visual y el aprendizaje por refuerzo profundo. La capacidad de GESRsim para simular escenarios quirúrgicos complejos, así como su interoperabilidad con hardware específico y marcos de inteligencia artificial, lo posicionan como una herramienta valiosa para la investigación y el desarrollo de tecnologías quirúrgicas avanzadas. La figura 2 muestra una visualización del GESRsim.

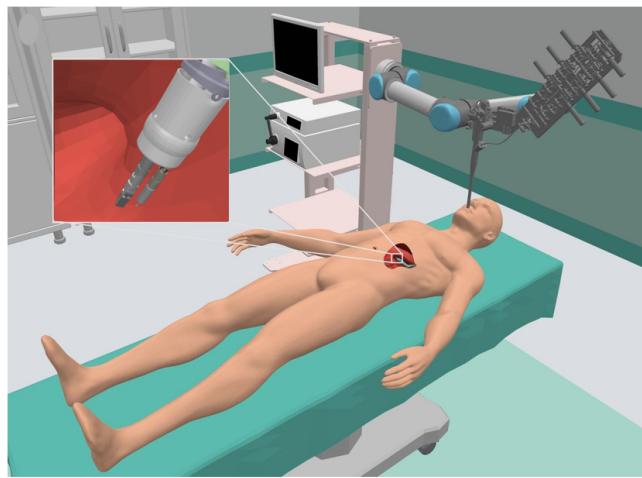


Figura 2: Entorno del simulador GESRsim

GESRsim, por lo tanto, no solo aborda algunas de las limitaciones actuales en la simulación de procedimientos quirúrgicos robóticos, sino que también ofrece una plataforma para la experimentación avanzada y la optimización del diseño y rendimiento de los robots quirúrgicos, contribuyendo así al avance de la ingeniería médica y al desarrollo de prácticas quirúrgicas más efectivas y seguras.

Un estudio que involucra simulación de interacción entre tejidos y herramientas realizado por K. Jo, et al (2020) [9], propone una metodología innovadora para la simulación de técnicas quirúrgicas básicas como corte (a), afeitado (b), anudado (c), agarre (d), sutura (e) y perforado (f), enfocándose específicamente en la cirugía del manguito rotador. Como se evidencia en la figura 3. Mediante un modelo virtual tridimensional basado en datos reales de pacientes, se logra una deformación en tiempo real del modelo de objeto quirúrgico a través de la interacción con diez tipos de herramientas quirúrgicas artroscópicas.

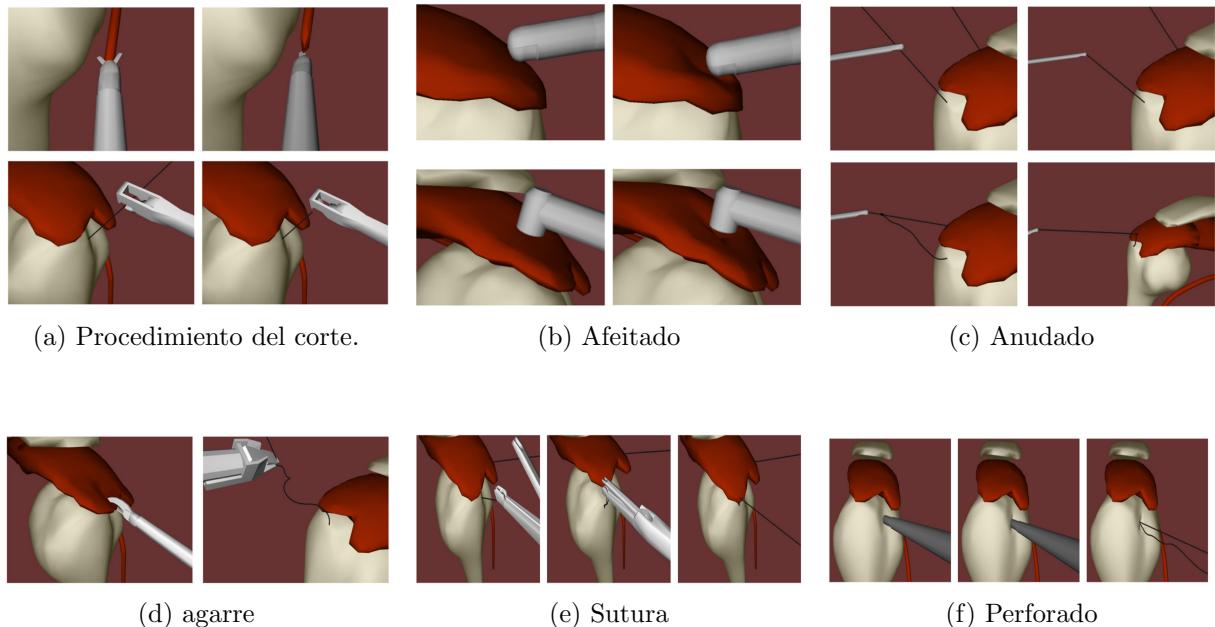


Figura 3: Resultados de la simulación del entrenamiento quirúrgico.

El estudio identificó desafíos significativos en la precisión de la simulación de tejidos y la interacción dinámica entre tejidos y herramientas quirúrgicas, ofreciendo soluciones potenciales que podrían mejorar la fidelidad y el realismo de los simuladores de sutura robótica. Esto incluye el desarrollo de modelos avanzados de tejidos deformables y la integración de propiedades físicas específicas para simular más acertadamente el comportamiento del tejido humano.

El simulador de bajo costo para nefrectomía parcial laparoscópica presentado por Rasheed, et al (2023) [10], es una herramienta innovadora basada en el motor de juego Unity y complementada con el dispositivo de realidad virtual HTC Vive. Este simulador se distingue por su modelo anatómico detallado del riñón afectado por carcinoma de células renales y por su implementación de dinámicas basadas en posiciones para una deformación estable y eficaz de tejidos blandos. La siguiente figura ilustra los pasos para identificar la estructura y realizar la nefrectomía laparoscópica usando este simulador de bajo costo.

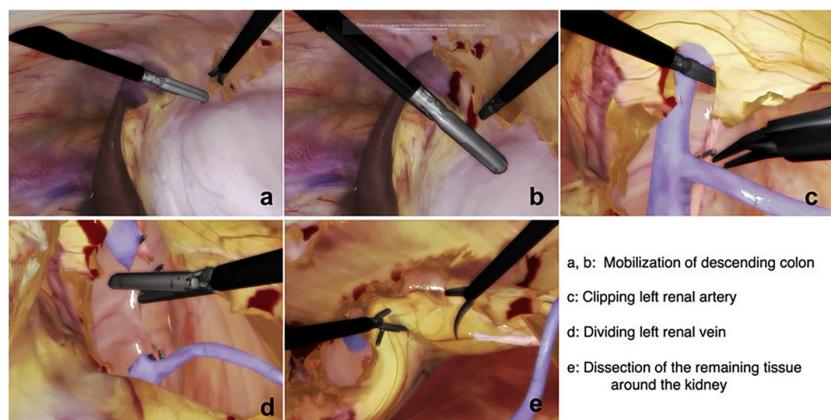
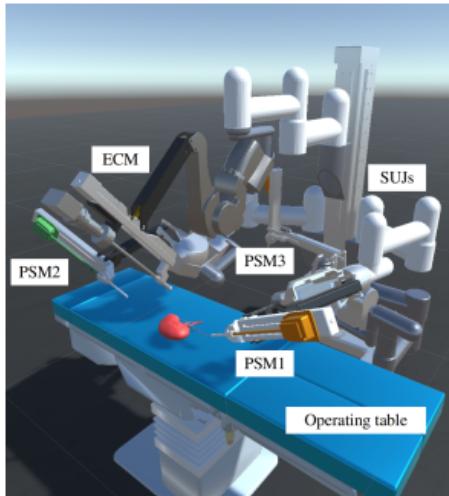


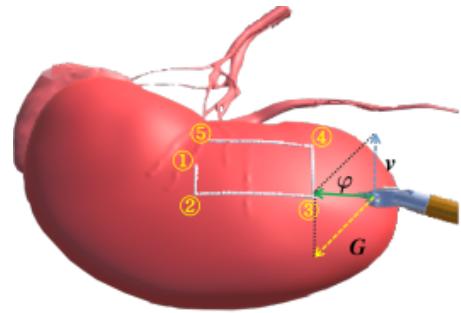
Figura 4: Pasos para identificar la estructura y realizar nefrectomía laparoscópica en el simulador software de bajo costo.

La metodología adoptada no solo permite una simulación visual y háptica convincente, sino que también ofrece una plataforma eficiente de evaluación y entrenamiento, manteniendo un equilibrio entre el costo y la eficacia operativa. Aunque el simulador demuestra un gran potencial para la formación inicial de cirujanos, se reconocen limitaciones inherentes al uso de motores de juegos en la replicación exacta de las complejidades anatómicas y biomecánicas.

El estudio realizado por Fan, et al (2022) desarrolla un simulador para el robot quirúrgico Da Vinci utilizando el motor Unity junto con el Sistema Operativo de Robots (ROS) [2]. Este simulador destaca por la posibilidad de integrar algoritmos de aprendizaje automático para futuras aplicaciones en robots reales, ampliando así el alcance de su utilidad tanto en la simulación como en la práctica quirúrgica real. Aunque no se discuten en detalle los desafíos técnicos específicos o las limitaciones del simulador, el trabajo contribuye significativamente a la formación quirúrgica, proporcionando una plataforma avanzada tanto para el aprendizaje de procedimientos quirúrgicos como para la investigación y desarrollo de nuevas técnicas quirúrgicas. En la imagen (a) de la figura 5 se ilustran el simulador Da Vinci en el entorno de Unity, mostrando tanto la representación de instrumentos y equipos; mientras que la imagen (b) de la figura 5 se ilustra el modelo de órgano y la trayectoria de entrenamiento.



(a) Representación de instrumentos y equipos.



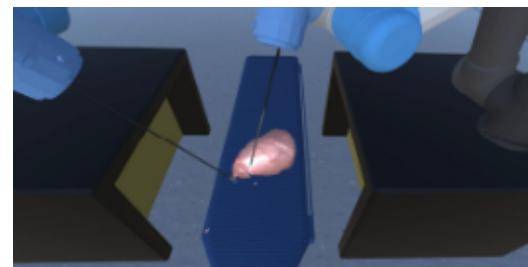
(b) Modelo de órgano y trayectoria de entrenamiento.

Figura 5: Simulador quirúrgico da Vinci en el escenario de Unity.

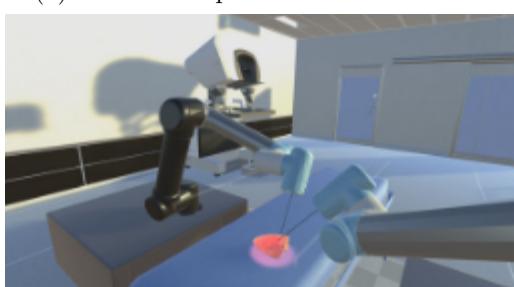
En el trabajo de Cai, et al (2023), se aborda el diseño y validación de un simulador de cirugía robótica en realidad virtual basado en gemelos digitales [5]. Este simulador evalúa la efectividad del entrenamiento de habilidades quirúrgicas y enfrenta desafíos significativos para mejorar la coherencia entre el control del robot real y el entorno virtual, un aspecto crucial para la simulación realista. A pesar de estos desafíos, la implementación del simulador ofrece una plataforma avanzada para la formación quirúrgica, reduciendo la necesidad de utilizar recursos cadavéricos y fomentando la innovación en el aprendizaje de habilidades quirúrgicas. En las figuras 6 se ilustran el entorno virtual del simulador de gemelo digital.



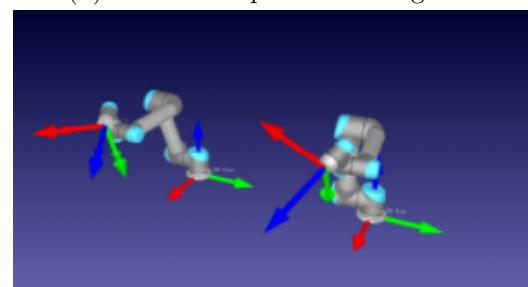
(a) Entorno de práctica de habilidades.



(b) Entorno de práctica en órgano.



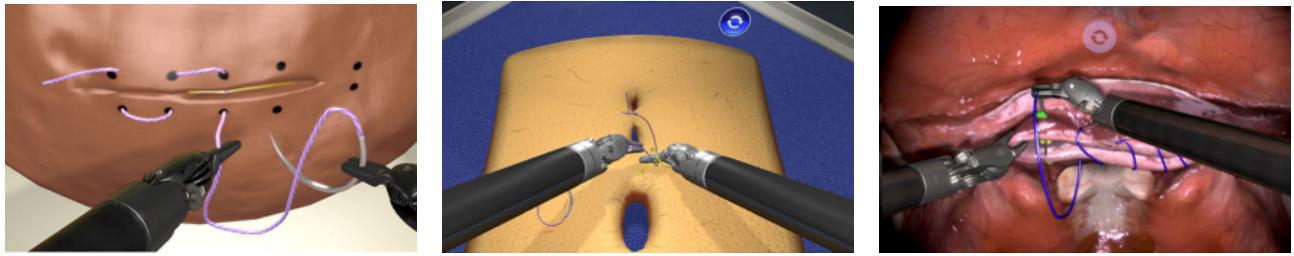
(c) Vista del simulador robótico quirúrgico.



(d) Modelos de twin robot.

Figura 6: Entorno para twin robot digital.

El estudio de Leijte et al. (2020), examina la validación de respuesta y la relación de contenido en tareas avanzadas de sutura utilizando el simulador RobotiX, destacando su eficacia para el entrenamiento basado en competencias [11]. A pesar de enfrentar limitaciones como errores en la simulación de sutura, este trabajo enfatiza la importancia de validar los simuladores para mejorar los resultados quirúrgicos reales. Los hallazgos contribuyen significativamente al desarrollo de currículos de entrenamiento en cirugía asistida por robots y optimizan la preparación de los cirujanos antes de enfrentar procedimientos en pacientes. En la figura 7 se muestran diferentes aspectos del simulador RobotiX en acción.



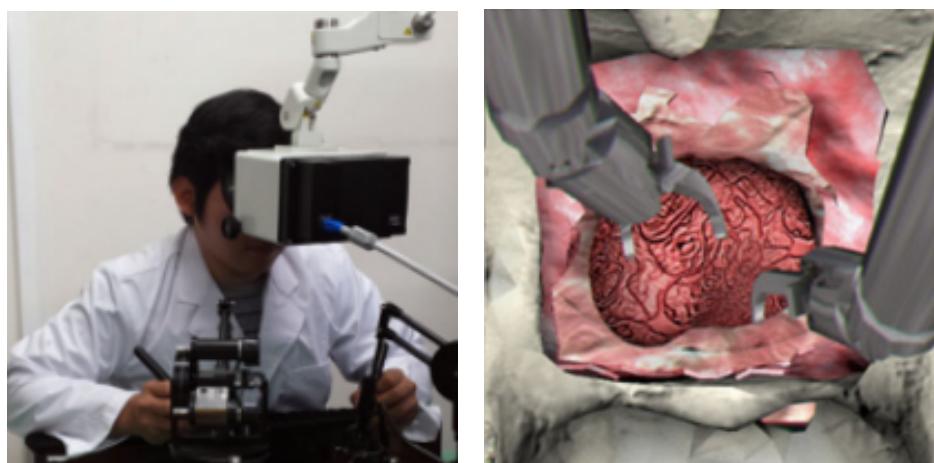
(a) Simulación Vía férrea (transferencia de aguja plana inclinada)

(b) Simulación de sutura intracorporal

(c) Simulación de cierre del manguiño vaginal

Figura 7: Simulador de cirugía asistida por robot RobotiX.

En el estudio realizado por Heredia Pérez et al. (2019), se introduce un enfoque innovador que emplea realidad virtual para la simulación de cirugías micro-robóticas de resección de tumores cerebrales. Se destaca la implementación de algoritmos avanzados que mejoran la precisión de los movimientos del sistema robótico. Sin embargo, el estudio también identifica la necesidad de desarrollar modelos de tejido deformable más avanzados, lo cual es una limitación clave para alcanzar una simulación completamente realista [4]. Este avance es fundamental para mejorar la precisión y seguridad de procedimientos quirúrgicos complejos. En la figura 8 se ilustra la simulación de la resección robótica de tumores cerebrales realizada en el estudio.



(a) Control del simulador

(b) Entorno de simulación

Figura 8: Simulación de resección robótica de tumores cerebrales.

En el estudio de Munawar et al. (2022), se presenta un entorno abierto de simulación dedicado al aprendizaje y la práctica de la sutura quirúrgica asistida por robots. Este simulador destaca por su dinamismo, flexibilidad yrealismo, a pesar de enfrentar limitaciones en la precisión de la representación

de tejidos blandos. El sistema permite el prototipado rápido y ofrece un entorno práctico para mejorar las técnicas de sutura, contribuyendo significativamente al avance de la formación quirúrgica y la innovación tecnológica [3]. La figura 9 ilustra un ejemplo de simulación de sutura quirúrgica paso a paso asistida por robot.

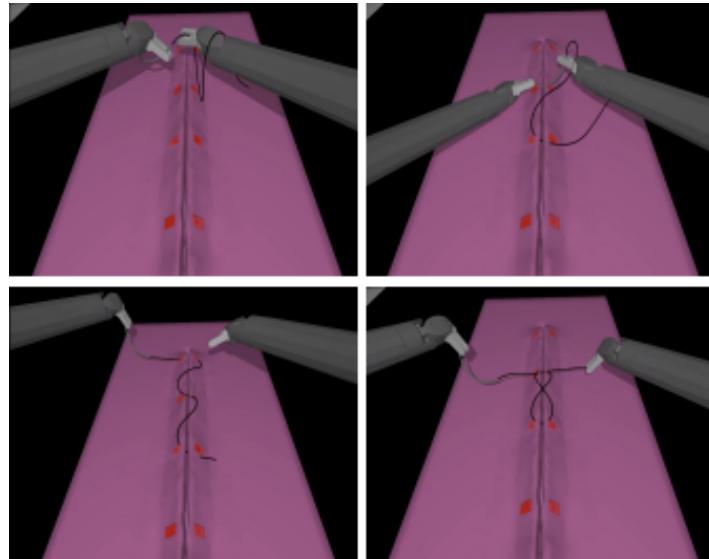
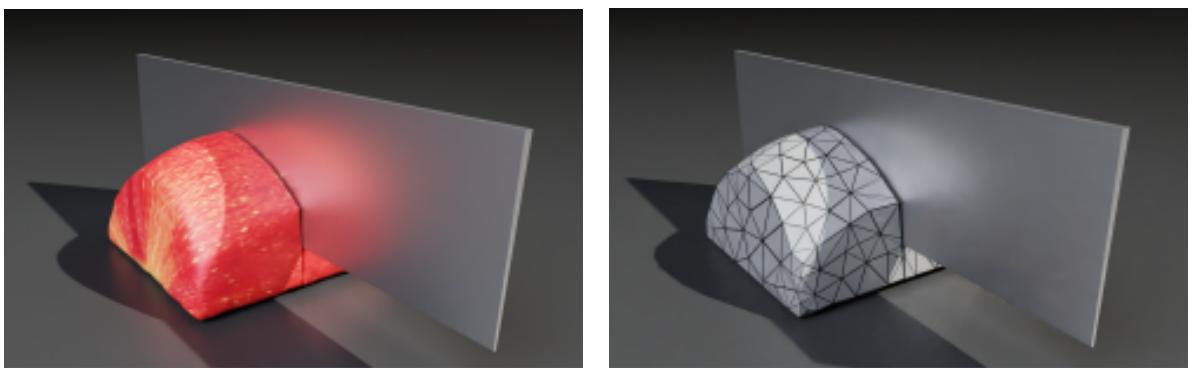


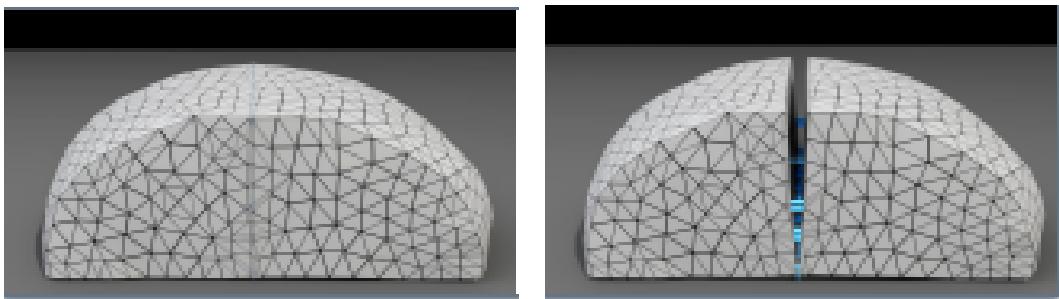
Figura 9: Sutura quirúrgica asistida por robot.

En el estudio de Heiden et al. (2021), se desarrolla un motor de simulación diferenciable específicamente diseñado para la tarea de corte autónomo en materiales blandos. Este simulador es pionero en la optimización de trayectorias de corte y en la mejora de la precisión de la simulación, aunque enfrenta desafíos relacionados con la generalización a diferentes tipos de materiales blandos y escenarios de corte más complejos. A pesar de estas limitaciones, el estudio contribuye significativamente a la precisión y el realismo de las simulaciones quirúrgicas, lo que a su vez facilita el desarrollo de nuevas técnicas y tecnologías en el ámbito quirúrgico [1]. A continuación, se muestran imágenes que ilustran el modelo de corte realista implementado para objetos (figura 10), y el modelado de malla del objeto (figura 11).



(a) Corte en el modelo de una rodaja de manzana. (b) Modelo tetraédrico de una rodaja de manzana

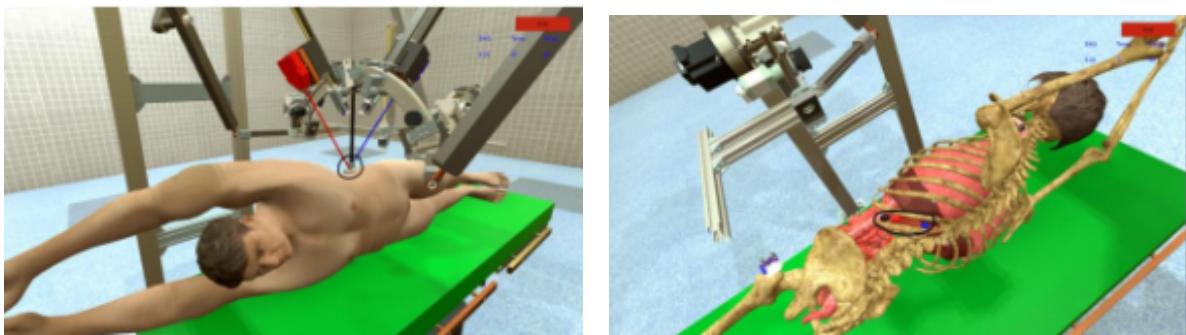
Figura 10: Modelo de Corte Realista de Objetos.



(a) Modelo tetraédrico de la malla del objeto (b) Resortes para simular un corte suave.

Figura 11: Modelo de Malla para Objetos.

Covaci et al. (2023) han desarrollado un simulador de realidad virtual para la cirugía laparoscópica de incisión única, que incorpora una interfaz de usuario avanzada y métodos de control innovadores para mejorar la formación quirúrgica. Este simulador evalúa la habilidad de los participantes para operar sistemas robóticos en un entorno completamente virtual, enfrentando desafíos como la escalabilidad y la aplicabilidad en entornos clínicos reales. A pesar de estas limitaciones, el sistema permite una optimización dimensional efectiva y la simulación de escenarios clínicamente relevantes, lo que podría tener un impacto significativo en la práctica médica y el desarrollo de nuevas tecnologías quirúrgicas [6]. La figura 12 a continuación ilustra el entorno de entrenamiento en cirugía laparoscópica.



(a) Modelo de practica de cirugía laparoscópica. (b) Modelo para visualización de órganos.

Figura 12: Entorno de entrenamiento en cirugía laparoscópica.

En el estudio realizado por Jo et al. (2020), se explora el desarrollo de un simulador de realidad virtual para la formación en procedimientos de estimulación de la médula espinal. Este simulador busca ofrecer un entorno altamente interactivo y realista, enfocado en mejorar tanto las habilidades técnicas como la confianza de los profesionales médicos. Utilizando tecnología de vanguardia, la plataforma permite a los usuarios practicar y repetir procedimientos en un entorno controlado y seguro. Sin embargo, el diseño relativamente simple del simulador puede limitar su capacidad para replicar todas las complejidades y variantes de los procedimientos quirúrgicos reales. Esta limitación destaca la necesidad de continuos desarrollos en el simulador, especialmente en la inclusión de más elementos que mejoren surealismo y precisión para una formación más efectiva. Jo et al. (2020) subrayan la importancia de estos avances para proporcionar una herramienta de formación que pueda contribuir significativamente a la práctica médica [9]. La figura 13 muestra una prueba dentro del simulador de realidad virtual.

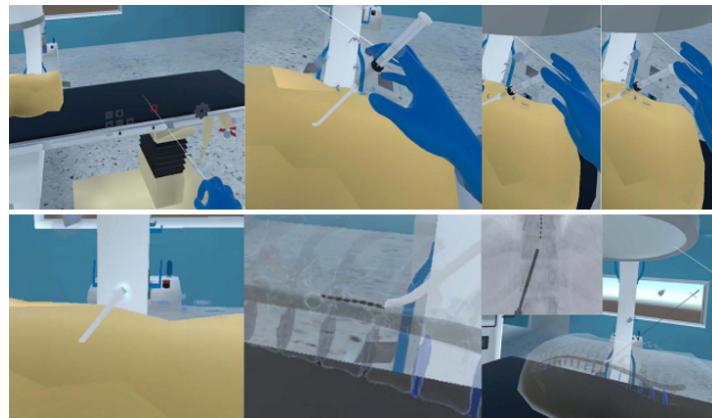


Figura 13: Simulador de realidad virtual para estimulación de la médula espinal.

El estudio presentado por Lee et al. (2018) introduce EpiduroSIM, un simulador de epiduroscopia innovador que integra técnicas de juego serio con un enfoque centrado en el usuario, diseñado específicamente para mejorar las habilidades cognitivas y el aprendizaje espacial de los cirujanos. El diseño de EpiduroSIM está orientado a proporcionar a los profesionales médicos una formación efectiva y realista, preparándolos para enfrentarse a procedimientos reales con mayor confianza y competencia. No obstante, una limitación significativa del simulador es su falta de retroalimentación táctil, un aspecto crucial en la formación quirúrgica, que puede influir en la transferencia de habilidades manuales al entorno real. Este desafío subraya la importancia de incorporar tecnologías avanzadas de retroalimentación táctil para enriquecer la experiencia de simulación, haciéndola más inmersiva y práctica [12]. El simulador de Epiduroscopia, representado en la figura 14, ilustra el potencial de estas tecnologías para transformar el entrenamiento médico.

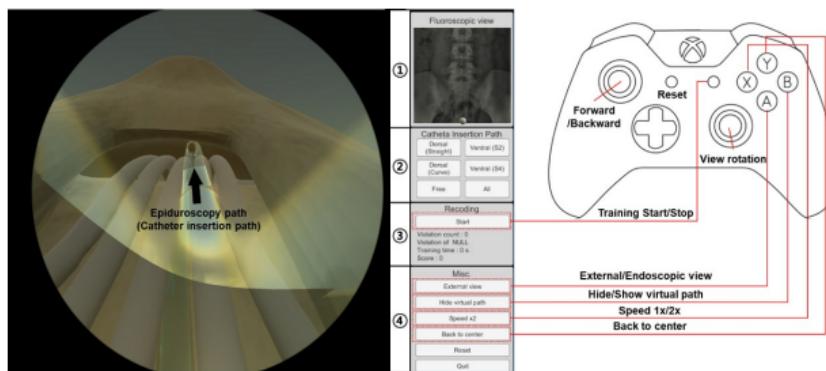


Figura 14: Simulador de epiduroscopia basado en un juego.

El campo de los simuladores quirúrgicos está experimentando un crecimiento y desarrollo significativos, con una gama cada vez más amplia de aplicaciones, desde neurocirugía hasta procedimientos específicos como la epiduroscopía y la sutura asistida por robots. Estos simuladores se diseñan para ofrecer entornos de aprendizaje realistas y seguros que permiten a los profesionales médicos perfeccionar sus habilidades sin riesgos para los pacientes. Uno de los principales desafíos es la simulación realista de tejidos blandos, especialmente crucial para operaciones como la sutura. Los modelos actuales aún luchan por replicar la complejidad y el comportamiento real del tejido humano, lo que afecta la transferencia de habilidades al entorno clínico. Además, la integración de retroalimentación táctil precisa es un desafío constante que podría revolucionar el entrenamiento quirúrgico, haciendo las sesiones de simulación casi indistinguibles de los procedimientos reales.

Al comparar los simuladores entre sí, se observa una necesidad común de avanzar hacia simulaciones más precisas y realistas. La implementación de modelos de tejido deformable avanzados es una necesidad compartida en varios tipos de simuladores. Asimismo, el desarrollo de algoritmos para una mejor respuesta del robot y la optimización de las trayectorias de sutura reflejan un entendimiento profundo de la necesidad de una simulación más exacta y eficiente.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo General

Implementar un simulador de sutura basado en ROS 2 que incluya el robot UR3 y la pinza Endowrist.

4.2. Objetivos Específicos

- Formular criterios precisos para la implementación de un simulador virtual de sutura, considerando aspectos tanto técnicos de software como requisitos médicos.
- Desarrollar un entorno de simulación que integre el robot UR3 y la pinza Endowrist para sutura laparoscópica, en un escenario quirúrgico basado en ROS2.
- Validar el simulador desarrollado con diversas trayectorias de sutura quirúrgicas.

5. Aproximación Metodológica

Este proyecto se abordará mediante una secuencia de actividades estructuradas en fases distintas, orientadas a cumplir con los objetivos específicos propuestos. A continuación, se detalla la organización de las actividades a realizar:

5.1. Objetivo Específico 1: Formular criterios precisos para la implementación de un simulador virtual de sutura

5.1.1. Fase 1: Investigación y Recopilación

1. Realizar un estudio exhaustivo sobre los requisitos técnicos y médicos necesarios para la implementación de simuladores de sutura.
2. Consultar con expertos médicos y técnicos para definir criterios derealismo, eficacia en simulaciones de sutura.

5.1.2. Fase 2: Establecimiento de Criterios

1. Formular criterios técnicos para la simulación basados en ROS2, incluyendo especificaciones de software y hardware.
2. Formular requisitos médicos en términos de precisión de la sutura, tipos de sutura, y escenarios quirúrgicos a simular.

5.2. Objetivo Específico 2: Desarrollar un entorno de simulación que integre el robot UR3 y la pinza Endowrist para sutura laparoscópica

5.2.1. Fase 3: Diseño y Desarrollo

1. Adquirir competencias en el software ROS2 y herramientas de desarrollo asociadas.
2. Diseñar una interfaz de usuario agradable y funcional, incluyendo un menú contextual para facilitar la navegación y el acceso a las funciones del simulador.
3. Explorar la posibilidad de integrar dinámicas de deformación en la herida y el manejo del hilo durante la fase de diseño del entorno de simulación, asegurando una experiencia realista para el usuario.
4. Integrar la pinza Endowrist con su cinemática inversa, asegurando la implementación efectiva de ROS 2 para una comunicación y control precisos.
5. Programar la lógica de control y las interacciones posibles dentro del simulador, preparando el sistema para la integración de las funcionalidades exploradas.

5.2.2. Fase 4: Implementación y Pruebas Iniciales

1. Desarrollar el simulador para que los puntos de puntadas puedan aparecer sobre la herida de forma aleatoria y explorar la posibilidad de que la herida pueda aparecer en cualquier lugar de una región determinada.
2. Implementar un sistema que ejecute una sutura de manera automática, basándose en los criterios definidos y las funcionalidades exploradas en la fase de diseño y desarrollo.
3. Realizar pruebas de funcionamiento para detectar y corregir errores, ajustando la interfaz de usuario, el menú contextual, y las dinámicas de deformación y manejo del hilo según sea necesario.

5.3. Objetivo Específico 3: Validar el simulador desarrollado con diversas trayectorias de sutura quirúrgicas

5.3.1. Fase 5: Validación

1. Desarrollar y validar un conjunto de trayectorias de sutura quirúrgicas, probando exhaustivamente las dinámicas de deformación de la herida y el manejo del hilo.
2. Integrar las trayectorias en el simulador y realizar pruebas con usuarios finales, ajustando las funcionalidades basadas en el feedback recibido para mejorar la experiencia del usuario.

5.3.2. Fase 6: Documentación y Publicación

1. Documentar el proceso de desarrollo, las especificaciones técnicas, y los resultados de la validación, poniendo especial énfasis en las innovaciones realizadas en las dinámicas de deformación de la herida y el manejo del hilo.
2. Preparar y presentar un informe final que incluya conclusiones y recomendaciones para futuros desarrollos.
3. Redactar y someter un artículo científico detallando el trabajo realizado, las innovaciones introducidas y sus potenciales aplicaciones en el campo de la medicina y la formación médica.

6. Cronograma.

FASES	Actividades	MES								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Investigación y Recopilación	Actividad 1	■								
	Actividad 2		■							
Establecimiento de Criterios	Actividad 1			■						
	Actividad 2									
Diseño y Desarrollo	Actividad 1				■					
	Actividad 2					■				
	Actividad 3						■			
	Actividad 4							■		
	Actividad 5								■	
Implementación y Pruebas Iniciales	Actividad 1							■		
	Actividad 2								■	
	Actividad 3									■
Validación	Actividad 1							■	■	
	Actividad 2								■	
Documentación y Publicación	Actividad 1									■
	Actividad 2									
	Actividad 3									

Tabla 1: Cronograma detallado de actividades del proyecto.

7. Recursos, presupuesto y fuentes de financiación.

El presupuesto destinado a la ejecución de este proyecto se encuentra desglosado en la tabla 2, que muestra los montos asignados a cada gasto y quién es responsable de ellos. Es importante destacar que se han seguido los lineamientos establecidos por la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca, basados en un valor de punto de \$ 20.895 para el año 2024.

El plan de ejecución del proyecto contempla un periodo de tiempo estimado de 9 meses para su completa realización (36 semanas) durante los cuales se espera que los estudiantes dediquen un total de 40 horas semanales al proyecto, distribuidas en diferentes actividades y tareas. Por otro lado, se ha asignado al director del proyecto un compromiso semanal de 2 horas para supervisar, orientar y coordinar las actividades del equipo. De esta forma, los puntos como unidades de medida para evaluar el progreso y cumplimiento de las distintas etapas del proyecto se definen de la siguiente manera:

- Estudiante: 1.5 puntos.
- Director: 2.5 puntos.

RUBROS	FUENTES		TOTAL
	Estudiantes	FIET	
Recursos humanos			
Director		\$ 3.392.100	\$ 3.392.100
Estudiantes	\$ 40.705.200		\$ 40.705.200
Recursos técnicos			
Recursos hardware	\$ 7.000.000		\$ 7.000.000
Recursos software	\$ 1.000.000	\$ 185.000	\$ 1.185.000
Recursos bibliográficos	\$ 200.000		\$ 200.000
Recursos varios	\$ 315.000		\$ 315.000
Valor del proyecto			\$ 52.797.300
Administración (10 %)			\$ 5.279.730
Comunicaciones (2 %)			\$ 1.055.946
Provisiones (10 %)			\$ 5.279.730
VALOR TOTAL PROYECTO			\$ 64.412.706

Tabla 2: Presupuesto.

8. Condiciones de entrega.

- Monografía
- Simulador de sutura funcional con su respectivo manual.
- Artículo de divulgación

Referencias

- [1] E. Heiden, M. Macklin, Y. S. Narang, D. Fox, A. Garg, and F. Ramos, “Disect: A differentiable simulation engine for autonomous robotic cutting,” in *Proceedings of Robotics: Science and Systems*, (Virtual), July 2021.
- [2] K. Fan, A. Marzullo, N. Pasini, A. Rota, M. Pecorella, G. Ferrigno, and E. De Momi, “A unity-based da vinci robot simulator for surgical training,” in *2022 9th IEEE RAS/EMBS International Conference for Biomedical Robotics and Biomechatronics (BioRob)*, pp. 1–6, Aug 2022.
- [3] A. Munawar, J. Y. Wu, G. S. Fischer, R. H. Taylor, and P. Kazanzides, “Open simulation environment for learning and practice of robot-assisted surgical suturing,” *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 7, pp. 3843–3850, April 2022.
- [4] S. A. Heredia-Pérez, K. Harada, M. A. Padilla-Castañeda, M. Marques-Marinho, J. A. Márquez-Flores, and M. Mitsuishi, “Virtual reality simulation of robotic transsphenoidal brain tumor resection: Evaluating dynamic motion scaling in a master-slave system,” *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery*, vol. 15, no. 1, p. e1953, 2019. e1953 RCS-17-0137.R1.
- [5] X. Cai, Z. Wang, S. Li, J. Pan, C. Li, and Y. Tai, “Implementation of a virtual reality based digital-twin robotic minimally invasive surgery simulator,” *Bioengineering*, vol. 10, no. 11, 2023.
- [6] F. Covaciu, N. Crisan, C. Vaida, I. Andras, P. Alexandru, B. Gherman, C. Radu, P. Tucan, N. Hajjar, and D. Pisla, “Integration of virtual reality in the control system of an innovative medical robot for single-incision laparoscopic surgery,” *Sensors*, vol. 23, p. 5400, 06 2023.
- [7] P. Korzeniowski, C. S. Chacon, V. R. Russell, S. A. Clarke, and F. Bello, “Virtual reality simulator for pediatric laparoscopic inguinal hernia repair,” *Journal of Laparoendoscopic & Advanced Surgical Techniques*, vol. 31, no. 11, pp. 1322–1330, 2021.
- [8] H. Gao, Z. Zhang, C. Li, X. Xiao, L. Qiu, X. Yang, R. Hao, X. Zuo, Y. Li, and H. Ren, “Gesrsim: Gastrointestinal endoscopic surgical robot simulator,” in *2022 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, pp. 9542–9549, IEEE, 2022.
- [9] K. Jo, E. Bae, H. You, and J. Choi, “Development of tissue-tool interaction simulation algorithms for rotator cuff surgery scenario in arthroscopic surgery training simulator,” *Journal of Biomedical Engineering Research*, vol. 41, no. 4, pp. 154–164, 2020.
- [10] F. Rasheed, F. Bukhari, W. Iqbal, M. Asif, and H. A. H. Chaudhry, “A low-cost unity-based virtual training simulator for laparoscopic partial nephrectomy using htc vive,” *PeerJ Computer Science*, vol. 9, p. e1627, 2023.
- [11] E. Leijte, I. Blaauw, C. Rosman, and S. Botden, “Assessment of validity evidence for the robotix robot assisted surgery simulator on advanced suturing tasks,” *BMC Surgery*, vol. 20, 08 2020.
- [12] J. Lee, S.-w. Jang, Y. Yun, S. Kang, D. Shin, and Y. S. Kim, “Epidurosim: Epiduroscopy simulator based on serious game for spatial cognitive training (preprint),” 11 2018.



Universidad del Cauca
Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones

TRABAJO DE GRADO – MODALIDAD TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

ACTA DE TITULARIDAD DE DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL PARA TRABAJOS DE GRADO, MODALIDAD INVESTIGACIÓN.

El Trabajo de grado titulado simulador de sutura Robótica basado en ROS2, cuyo objetivo es implementar un simulador de sutura basado en ROS 2 que incluya el robot UR3 y la pinza Endowrist, el cual se desarrollará por los estudiantes de pregrado Alvaro David Moncayo Martínez y Diego Alexander Bolaños Muñoz, pertenecientes al programa de Ingeniería en Automática Industrial de la Facultad de Ingeniería Electrónica y Telecomunicaciones de la Universidad del Cauca y bajo la dirección de Hermes Fabian Vargas Rosero, Docente adscrito al Departamento de Electrónica, Instrumentación y Control, se realizará como requisito para optar al título de Ingeniero en Automática Industrial. La idea original del proyecto es de Hermes Fabian Vargas Rosero identificado con C.C.10697021 de Popayán y la codirección del Dr. Oscar Andrés Vivas Albán C.C. 10584134, quienes la presentó al mencionado Departamento y fue aceptada como tema para el proyecto de grado en referencia.

■ Financiación.

Entidades que Participan en la financiación del proyecto	
1. Porcentaje financiación UNIVERSIDAD DEL CAUCA	100 %
2. Porcentaje financiación entidades externas	0 %

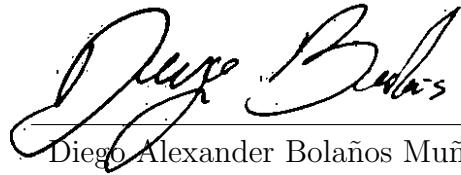
Los resultados que surjan del desarrollo de este Trabajo de Grado estarán regidos por el Estatuto de Propiedad Intelectual de la Universidad del Cauca, el cual se encuentra regulado por el Acuerdo 008 de 1999, modificado por el Acuerdo Superior 004 de 2018.

Todos los participantes manifiestan que conocen y aceptan lo dispuesto en el Acuerdo Superior No. 008 de 1999 y sus respectivas modificaciones, por lo cual, los aspectos no establecidos en la presente acta serán definidos de conformidad con el Estatuto de Propiedad intelectual de la Universidad del Cauca.

En constancia de aceptación, se firma el Acta por los que en ella intervienen, el día 30 de mayo de 2024



Alvaro David Moncayo Martinez
Estudiante
Cc. 1193469990
Código: 104719011247



Diego Alexander Bolaños Muños
Estudiante
Cc. 1002792189
Código: 104719011276

Oscar Andrés Vivas Albán
Director.
C.C. 10584134

Hermes Fabian Vargas Rosero
Director.
C.C. 10697021

Alejandro Toledo Tovar
Decano FIET.